



**DEBRECENI
EGYETEM**

SZÉCHENYI 2020

Gépészeti rendszerek károsodása, javítástechnológiája és karbantartása

Szerkesztette:
Menyhárt József

A tananyag elkészítését a „Duális képzések fejlesztése a Debreceni Egyetemen (DDE)” az **EFOP-3.5.1-16-2017-00007** számú projekt támogatta. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

SZÉCHENYI 2020



MAGYARORSZÁG
KORMÁNYA

Európai Unió
Európai Szociális
Alap



BEFEKTETÉS A JÖVŐBE

Szerkesztő:
Menyhárt József

Szerzők:
Dr. Fazekas Lajos (1-7. fejezet)
Deák Krisztián (8-11. fejezet)
Menyhárt József (12-17. fejezet)

Kézirat lezárva: 2018. március. 20.

ISBN 978-963-490-038-2

Kiadja: Debreceni Egyetem

TARTALOMJEGYZÉK

1	BEVEZETÉS	14
2	A GÉPEK TÖNKREMENTELE, KOPÁSI FOLYAMATOK ÉS KOPÁSOK TÍPUSAI	15
2.1	A KÁROSODÁSOK, A TÖNKREMENTEL OKAI	15
2.2	KOPÁS	20
2.3	A KOPÁS FAJTÁI	23
2.3.1	Adhéziós kopás	28
2.3.2	Abráziós kopás.....	30
2.3.3	Fáradásos kopás (felszíni kifáradás, pitting).....	31
2.3.4	Mechano-kémiai kopás	32
2.3.5	Oxidációs kopás	32
2.3.6	Súrlódási korrózió (fretting kopás)	34
2.3.7	Eróziós kopás	35
2.3.8	Kavitációs kopás	36
2.4	KIFÁRADÁS.....	37
3	A GÉPJAVÍTÁSI TECHNOLÓGIA KIVÁLASZTÁSÁNAK SZEMPONTJAI.....	40
3.1	A GÉPEK FŐDARABJAINAK ÉS ALKATRÉSZEINEK TISZTÍTÁSA	42
3.2	MOSÁS VÍZZEL	44
3.2.1	Mosás közepes nyomású melegvízzel	45
3.2.2	Mosás nagynyomású hidegvizes berendezéssel.....	45
3.2.3	Mosás nagynyomású forróvizes mosóberendezéssel.....	46
3.2.4	Gőzsugaras tisztítás.....	46
3.3	ZSÍRTALANÍTÓ ELJÁRÁSOK	47
3.3.1	Lúgos mosás, emulziós mosás	47
3.3.2	Szerves oldószeres mosás (finom zsírtalanítás)	50
3.3.3	Ultrahangos zsírtalanítás	55
3.3.4	Elektrolitikus zsírtalanítás.....	56
3.3.5	A zsírtalanítás ellenőrzése.....	57
3.3.6	Szárjazeges tisztítás	57

4	GÉPALKATRÉSZEK FELÚJÍTÁSA MECHANIKAI MÓDSZE-REKKEL 60	
4.1	FELÚJÍTÁS JAVÍTÓMÉRETRE FORGÁCSOLÁSSAL	60
4.2	FELÚJÍTÁS PERSELYEZÉSSEL	61
4.3	EGYENGETÉS.....	62
5	KÖTÉSI TECHNIKÁK-FÉMES ANYAGOK.....	65
5.1	A HEGESZTŐELJÁRÁS KIVÁLASZTÁSÁNAK SZEMPONTJAI	67
5.2	HEGESZTÉS FELTÉTELEI	68
5.3	A HEGESZTENDŐ MUNKADARABOK ELŐKÉSZÍTÉSE.....	68
5.3.1	A hegesztő élek kialakítása	68
5.4	ALKALMAZOTT HEGESZTÉSI ELJÁRÁSOK	71
5.4.1	Gázhegesztés, kódszám: 311	71
5.4.2	Bevont elektródás kézi ívhegesztés, kódszám: 111	74
5.4.3	Fogyóelektródás semleges védőgázás ívhegesztés MIG-hegesztés (Metál Inert Gas), kódszám: 131 (Régi jelölése; AFI).....	75
5.4.4	Fogyóelektródás, aktív védőgázás ívhegesztés MAG-hegesztés (Metal-Activ Gas), kódszám: 135 (Régi jelölése: CO2).....	76
5.4.5	Volfrámelektródás, semleges védőgázás ívhegesztés (AWI/TIG) (Tungsten Inert Gas)	77
5.4.6	Plazmaív hegesztés (PAW).....	79
5.5	FÉMEK HEGESZTHETŐSÉGE.....	79
5.5.1	Szerkezeti acélok hegeszthetőségi tulajdonságai	79
6	GÉPALKATRÉSZEK FELÚJÍTÁSA TERMIKUS SZÓRÁSI (FÉMSZÓRÁSI) ELJÁRÁSOKKAL	81
6.1	A TERMIKUS SZÓRÁSI (FÉMSZÓRÁSI) ELJÁRÁSOK ÉS JELLEMZŐ.....	81
6.1.1	Utóhevítés nélküli lángporszórás (hideg fémporszórás).....	82
6.1.2	Utóhevítéses lángporszórás (meleg fémporszórás).....	87
7	NEMFÉMES ANYAGOK KÖTÉSI TECHNIKÁI.....	91
7.1	A RAGASZTÁS ELMÉLETE.....	91
7.2	A RAGASZTOTT ÉS RÖGZÍTŐSZERES KÖTÉS ELŐNYEI, HÁTRÁNYAI	92
7.3	A RAGASZTOTT ÉS RÖGZÍTŐSZERES KÖTÉSEK KONSTRUKCIÓS MEGFONTOLÁSAI ÉS TERVEZÉSE.....	94
7.4	RAGASZTOTT KÖTÉSEK TERVEZÉSE	94
7.5	A RAGASZTANDÓ MUNKADARABOKRA VONATKOZÓ ISMERETEK .	96

7.6	A FÉMRAGASZTÁS TECHNOLÓGIÁJA	97
7.7	ALKALMAZÁSI TERÜLETEI A KÖVETKEZŐK.....	98
8	GÉPJAVÍTÁST MEGELŐZŐ HIBAFELVÉTEL	99
8.1	FMEA A GÉPIPARI JAVÍTÁSTECHNOLÓGIÁBAN.....	99
8.2	OK-OKOZATI ELEMZÉS SZEREPE	100
8.3	HIBAMEGÁLLAPÍTÁS SZEMREVÉTELEZÉSSEL	101
8.4	HIBAMEGÁLLAPÍTÁS GÉPÉSZETI MÉRÉSSEL	102
8.5	ANYAGDIAGNOSZTIKAI ELJÁRÁSOK SZEREPE A JAVÍTÁSTECHNOLÓGIÁBAN	103
8.6	GÉPDIAGNOSZTIKAI ELJÁRÁSOK SZEREPE A JAVÍTÁSTECHNOLÓGIÁBAN	104
8.6.1	Időtartománybeli gépvizsgálatok	105
8.6.2	Frekvenciatartománybeli gépvizsgálatok.....	105
8.6.3	Gépek és gépelemek vizsgálata STFT módszerrel és wavelet transzformációval.....	107
8.6.4	A változó felbontású elemzés szerepe a javítástechnológiában.....	108
9	GÉPI TANULÁSI MÓDSZEREK A MŰSZAKI DIAGNOSZTIKÁBAN .	110
9.1.	MESTERSÉGES NEURÁLIS HÁLÓK ALKALMAZÁSA A JAVÍTÁST MEGELŐZŐ DIAGNOSZTIKÁBAN	110
9.2.	TARTÓVEKTOR GÉPEK (SVM) SZEREPE A JAVÍTÁSTECHNOLÓGIÁBAN	117
9.2.1.	Az SVM háttere	118
9.2.2.	Az eredeti SVM osztályozó	118
10	REZGÉSDIAGNOSZTIKA SZEREPE A JAVÍTÁS ELŐTTI ÁLLAPOTFELMÉRÉSBEN	122
10.1	CSAPÁGYAK ÁLLAPOTFELMÉRÉSE JAVÍTÁS ELŐTT.....	122
10.2	FOGASKERÉK HAJTÓMŰVEK HIBÁI	127
10.3	ÁRAMLÁSTECHNIKAI GÉPEK HIBÁI.....	128
11	GÉPALKATRÉSZEK FELÚJÍTÁSA KORSZERŰ MEGMUNKÁLÁSI TECHNOLÓGIÁKKA	129
11.1	SZIKRAFORGÁCSOLÁS SZEREPE A JAVÍTÁSTECHNOLÓGIÁBAN.....	129
11.2	LÉZERSUGARAS ANYAGMEGMUNKÁLÓ TECHNOLÓGIÁK SZEREPE A JAVÍTÁSTECHNOLÓGIÁBAN	132
11.3	LÉZERES FÚRÁS.....	133
11.4	A LÉZERSUGARAS VÁGÁS	134

11.5	A LÉZERSUGARAS HEGESZTÉS	135
11.6	LÉZERES FELÜLETI HŐKEZELÉS	136
11.7	LÉZERES BEVONATOLÁS	136
11.8	LÉZERES MARÁS	137
11.9	PLAZMÁVAL TÁMOGATOTT VÁGÁS.....	137
11.10	VÍZSUGARAS MEGMUNKÁLÁS.....	137
11.10.1	A vízsugaras megmunkálás elve	137
11.10.2	Abrazív vízsugaras vágás elve	138
11.11	AZ ELEKTRONSUGARAS MEGMUNKÁLÁSOK SZEREPE A JAVÍTÁSTECHNOLÓGIÁBAN	139
11.11.1	Elektronsugaras fúrás.....	140
11.12	ULTRAHANGOS MEGMUNKÁLÁSOK SZEREPE A JAVÍTÁSTECHNOLÓGIÁBAN	141
11.12.1	Az ultrahang előállítása.....	141
11.13	PLAZMASUGARAS MEGMUNKÁLÁSOK SZEREPE A JAVÍTÁSTECHNOLÓGIÁBAN	142
11.14	ELEKTROKÉMIAI ESZTERGÁLÁS	143
11.15	ELIZÁLÁS (ELEKTROKÉMIAI KÖSZÖRÜLÉS).....	144
11.16	AZ ELEKTROKÉMIAI FÚRÁS.....	144
11.17	ELEKTROKÉMIAI POLÍROZÁS	145
11.18	BEVONATOLÁSI ELJÁRÁSOK: PVD ÉS CVD SZEREPE A JAVÍTÁSTECHNOLÓGIÁBAN	145
11.18.1	A PVD eljárás	145
11.18.2	A CVD eljárás.....	146
	Bevezetés a könyv harmadik részéhez	148
12	Karbantartás rövid története.....	149
13	Karbantartási stratégiák	151
13.1	ÜZEMELTETÉS MEGHIBÁSODÁSIG (RUN TO FAILURE).....	151
13.2	IDŐSZAKOS KARBANTARTÁS (PERIODIC MAINTENANCE).....	152
13.3	TERVSZERŰ KARBANTARTÁS (PREVENTIVE MAINTENANCE).....	152
13.4	MEGBÍZHATÓSÁG KÖZPONTÚ KARBANTARTÁS (RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE – RCM)	153
13.5	ÁLLAPOTFÜGGŐ KARBANTARTÁS (CONDITION BASED MAINTENANCE – CBM, PREDICTIVE MAINTENANCE).....	154

13.6	KOCKÁZATALAPÚ KARBANTARTÁS (RISK-BASED MAINTENANCE)	156
13.7	LEAN KARBANTARTÁS VAGY TELJESKÖRŰ HATÉKONY KARBANTARTÁS (TOTAL PRODUCTIVE MAINTENANCE – TPM)	156
13.8	SZÁMÍTÓGÉPES KARBANTARTÁS MENEDZSMENT RENDSZER (COMPUTERIZED MAINTENANCE MANAGEMENT SYSTEM – CMMS)	156
14	Mutatószámok – Key Performance Indicator, KPI System	158
14.1	KIJAVÍTÁSIG ELTELT ÁTLAG IDŐ - MEAN TIME TO REPAIR – MTTR	158
14.2	MEGHIBÁSODÁSOK KÖZÖTTI ÁTLAGIDŐ - MEAN TIME BETWEEN FAILURES (MTBF)	159
14.3	OVERALL EQUIPMENT EFFECTIVENESS (OEE).....	160
15	Kockázatelemzés és problémamegoldó technikák.....	166
15.1	PDCA	166
15.2	5 MIÉRT MÓDSZER	168
16	5S	169
17	A veszteségekről röviden.....	170

TÁBLÁZATOK JEGYZÉKE

7.1. táblázat: A ragasztott kötésre alkalmas illesztési megoldások [4]	95
9.1. táblázat: A csapágyhibákra utaló tünetek és a neurális háló hatékonysága.....	117
14.1. táblázat: Fejlesztési területek [4] [5]	162
15.1. táblázat: 5 Miért alkalmazása [1-4]	168

ÁBRÁK JEGYZÉKE

2.1. ábra: A szerkezeteket ért értékcsökkentő hatások. [7]	15
2.2. ábra: Károsodást folyamat és a helyreállítás összefüggése [7].....	16
2.3. ábra: A károsodást folyamat és a műszaki állapot összefüggése [7].....	16
2.4. ábra: A károsodást folyamat a műszaki állapot és a helyreállítási összefüggései [7]	17
2.5. ábra: Az értékcsökkentő hatások [1]	18
2.6. ábra: A meghibásodások csoportosítás [1].....	19
2.7. ábra: Elemi tribológiai rendszer I. [1]	20
2.8. ábra: Elemi tribológiai rendszer II. [4]	21
2.9. ábra: A felület szerkezete [3].....	21
2.10. ábra: A kopást meghatározó tényezők [1]	22
2.11. ábra: Viszonylagos elmozdulás módjai [1]	22
2.12. ábra: A súrlódási módok és állapotok [1].....	23
2.13. ábra: A kopás folyamata. [3]	24
2.14. ábra: A kopás erőssége [3]	24
2.15. ábra: Kopásmechanizmusok [4]	25
2.16. ábra: A kopás jellegének és nagyságának változása [4].....	25
2.17. ábra: A kopás alapfolyamatai [1]	26
2.18. ábra: A súrlódás a kenésállapot szerint [5].....	27
2.19. ábra: A súrlódás káros hatásának csökkentési lehetőségei [5]	28
2.20. ábra: A kopás fajtái [3].....	29
2.21. ábra: Az adhéziós kopás folyamata [1]	29
2.22. ábra: Kéttest abrziós kopása [3].....	30
2.23. ábra: Háromtest abrziós kopása [3]	30
2.24. ábra: A fáradásos kopás előre haladási folyamata (1,2,3) [1]	31
2.25. ábra: Példák fáradásos kopásra [1]	31
2.26. ábra: A mechano-kémiai kopás súrlódó felületének szerkezete [5]	32
2.27. ábra: Az oxidációs kopás folyamata [1]	33
2.28. ábra: Az oxidációs kopás folyamata [1]	34
2.29. ábra: Néhány példa a súrlódási korrózió előfordulási helyeire [5].....	34

2.30. ábra: Az oxidációs kopás (fretting) folyamata (súrlódási folyamatot erős oxidáció kíséri) [5]	35
2.31. ábra: Az ütközési sebesség hatása a kopás nagyságára [6]	36
2.32. ábra: A kavitációs kopás folyamata [5]	36
2.33. ábra: Kavítáló hajócsavar [1]	37
2.34. ábra: Wöhler görbe és szakaszai [1]	38
2.35. ábra: Jellegzetes kifáradásos törési felületek [1]	39
2.36. ábra: A fáradt törés folyamata [1]	39
2.37. ábra: Fogaskerék tönkremenetele kifáradás miatt [1]	39
3.1. ábra: A vízgőzsugár mechanikai tisztítóhatása [1]	44
3.2. ábra: Mosótelep olajleválasztó aknával [1]	45
3.3. ábra: Sűrített levegővel kombinált mosópisztoly [1]	45
3.4. ábra: Gőzsugaras tisztítóberendezés [1]	47
3.5. ábra: Háromzónás folyamatos üzemű mosógép [1]	50
3.6. ábra: Gőzfázisú zsírtalanító berendezés elvi vázlata [1]	53
3.7. ábra: Kétzónás folyadékfázisú zsírtalanító berendezés elvi vázlata [1]	54
3.8. ábra: Átmenőpályás folyamatos üzemű zsírtalanító berendezés elvi vázlata [1]	54
3.9. ábra: Ultrahangos mosóberendezés [1]	55
3.10. ábra: A szárazjeges tisztítás gépei [3]	58
3.11. ábra: Szárazjég tisztítási folyamat [3]	58
4.1. ábra: Szivattyúház felújítása perselyezéssel [1]	61
4.2. ábra: Poliamid csapágyperselyek illesztése [1]	61
4.3. ábra: Csapágyfészek felújítás perselyezéssel [1]	62
4.4. ábra: Spirálvonalú egyengetés két sorban [1]	63
4.5. ábra: A hevítési helyek elhelyezése [1]	63
4.6. ábra: A hullámosodott lemez egyengetési módjai [1]	64
4.7. ábra: A görbült idomacélok hevítési alakzatai [1]	64
5.1. ábra: Hegeszthetőséget befolyásoló tényezők és kötési módok [1]	65
5.2. ábra: Hegesztések alkalmazásai [1]	66
5.3. ábra: Merőlegesen leélezett lemezek [2]	68
5.4. ábra: Szög alatt leélezett lemezek [2]	68
5.5. ábra: Peremvarrat [2]	69

5.6. ábra: I varrat [2].....	69
5.7. ábra: V varrat [2]	69
5.8. ábra: X varrat [2]	70
5.9. ábra: U varrat [2]	70
5.10. ábra: Átlapolt kötés, sarokvarrat [2].....	70
5.11. ábra: Sarokkötések [2].....	71
5.12. ábra: Sarokkötés jellemző méretei [2]	71
5.13. ábra: A gázhegesztés elrendezése [1]	72
5.14. ábra: A hegesztőpisztoly felépítése [1].....	72
5.15. ábra: A hegesztőpisztoly injektora[2].....	73
5.16. ábra: Lángtípusok [1]	73
5.17. ábra: A hegesztőpisztoly felépítése I	73
5.18. ábra: Bevont elektródás ívhegesztés [1]	74
5.19. ábra: Kézi ívhegesztés folyamata [2]	74
5.20. ábra: Semleges védőgáz as ívhegesztés(MÍG) [1]	76
5.21. ábra: Kézi ívhegesztés folyamata [1]	76
5.22. ábra: A MAG hegesztés kémiai folyamata [1]	77
5.23. ábra: A AWI/TIG hegesztés elve [1].....	78
5.24. ábra: ábra Villamos ív az argonatmoszférában és a polaritás szerepe AWI hegesztésnél [4]	78
5.25. ábra: Plazmaív hegesztés elrendezése [4].....	79
6.1. ábra: Termikus szórások csoportosítása [7]	82
6.2. ábra: Termikus szórás lánggal [5]	83
6.3. ábra: Huzal szórása lánggal [5]	83
6.4. ábra: Tengely előkészítés [1].....	84
6.5. ábra: Sík felületek[7]	84
6.6. ábra: Szórt alkatrész minimális rétegvastagsága[7]	84
6.7. ábra: Szórt alkatrész minimális rétegvastagsága [7]	85
6.8. ábra: Az alapozóréteg tapadása az alapfémhez [1].....	85
6.9. ábra: Különféle szórópisztoly kialakítások [1;4].....	89
7.1. ábra: Ragasztóanyagok csoportosítása [1].....	93
7.2. ábra: Helyes kötésmódok kialakítása [5].....	96

7.3. ábra: A folyadékcseppek nedvesítési tulajdonsága [3].....	97
8.1. ábra: FMEA táblázat hibafelvételhez [7]	100
8.2. ábra: Ok-okozati diagram [8]	101
8.3. ábra: Gépészeti mérés gépfelújítás során [9].....	102
8.4. ábra: Penetrációs anyagvizsgálati módszer [10].....	103
8.5. ábra: Csapágyhibák transzformációja frekvenciatartományba	106
8.6. ábra: Csapágy frekvencia jellegzetes hibaspektrum belsőgyűrű hibával	106
8.7. ábra: Idő-frekvenciatartomány grafikon.....	107
8.8. ábra: A változó felbontású elemzés frekvencia szerinti felbontása.....	108
8.9. ábra: A belső gyűrű hibával rendelkező csapágy wavelet transzformáció után nyert spektruma	108
8.10. ábra: Csapágyvizsgáló tesztpad.....	109
9.1. ábra: Az elemi neuron súlyokkal, aktivációs- és átviteli függvénnyel	111
9.2. ábra: Sigmoid függvény	111
9.3. ábra: A mesterséges neurális hálózatok lehetséges csoportosítása.....	112
9.4. ábra: A mesterséges neurális hálózatok topológiája.....	113
9.5. ábra: Az időtartománybeli rezgéskép (balra), frekvenciaspektrum FFT transzformációt követően a 6206 típusú csapágnál	116
9.6. ábra: SVM elve [5].....	119
10.1. ábra: A kúpgörgős csapágy részei és megnevezése [5].....	124
10.2. ábra: A csapágyhiba frekvenciák a meghibásodás 1. stádiumában	124
10.3. ábra: A csapágyhiba frekvenciák a meghibásodás 2. stádiumában	125
10.4. ábra: A csapágyhiba frekvenciák a meghibásodás 3. stádiumában	125
10.5. ábra: A csapágyhiba frekvenciák a meghibásodás 4. stádiumában	126
10.6. ábra: A csapágyhiba 5. stádiumában tipikus kopásképe.....	126
10.7. ábra: A csapágyhiba 6. stádiumában tipikus kopásképe.....	127
11.1. ábra: A szikraforgácsolás elve.....	130
11.2. ábra: A szikraforgácsolás feljavított munkadarab [11].....	131
11.3. ábra: Lézersugar előállítás	133
11.4. ábra: Lézerfűrés technológiája [15].....	134
11.5. ábra: Lézervágás technológiája [16].....	135
11.6. ábra: Lézervágás technológiája [17].....	136

11.7. ábra: A vízsugaras vágás technológiája [17].....	138
11.8. ábra: Az abrazív vízsugaras vágás technológiája [17]	139
11.9. ábra: Az elektronágyú felépítése	140
11.10. ábra: Az ultrahangos megmunkálógép felépítési elve.....	141
11.11. ábra: A plazmasugaras megmunkálás felépítési elve	143
11.12. ábra: Az elektrokémiai esztergálás elve [17].....	143
11.13. ábra: Az elektrokémiai köszörülés elve [20]	144
11.14. ábra: A PVD technológia elve [18]	146
11.15. ábra: A CVD technológia elve [19].....	147
14.1. ábra: Időeloszlás a termelésben [4] [5].....	163
15.1. ábra: PDCA ciklus [3]	166

1 BEVEZETÉS

Korunk egyik jelentős kihívása a folyamatos műszaki fejlődés, melynek ütemét a tudományos-technikai forradalom szabja meg. A termék-előállítási versenyben az ipari vállalatok magasabb technikai színvonalú berendezéseket, automatizáltabb technológiákat alkalmaznak, miközben egyre nagyobb megbízhatóságot követelnek a gépektől. Ezek kihatnak a tervezés és gyártás mellett a gépfenntartással foglalkozó szakemberekre is, magasabb szakmai képzettséget várva el tőlük.

A gépfenntartás egyre nagyobb figyelmet kap a géptervezés, a gépgyártás és a termelés-szervezés folyamatában. Elegendő utalni például arra, hogy az utóbbi időben milyen mértékben növelték meg a különböző gyártó cégek termékeik garanciális idejét, vagy arra, hogy a nagy tömegben előállított termékek gépsorainál milyen szigorú karbantartási előírásokat kötelező betartani a termelés folytonosságának biztosítására illetve a műszaki hibákból eredő balesetek elkerülésére. Ezek a követelmények ma már, csupán a hagyományos módszerekkel, nem oldhatók meg.

Karbantartási tevékenységre mindig is szükség volt, de általában szükséges rossznak, tervezhetetlen általános költségnek tekintették.

Egyetlen berendezés, de különösen egy bonyolult gép sem lehet meg karbantartás nélkül, amely az üzemeltetés nélkülözhetetlen szakasza. Ezért kell a gépeket ápolni, vizsgáltatni, javítani, a meghibásodott részeit kicserélni. Ez a tevékenység, az energiaköltségek mellett a gépek üzemben tartása során a másik legnagyobb költségtényező. A jegyzet célja, hogy egy olyan tartós tudást megalapozott szemléletű alapismereteket adjon a hallgatóknak, hogy a gyakorlatban ezeket nagy biztonsággal munkájuk során alkalmazni tudják.

2 A GÉPEK TÖNKREMENTELE, KOPÁSI FOLYAMATOK ÉS KOPÁSOK TÍPUSAI

2.1 A károsodások, a tönkremenetel okai

Az elhasználódás olyan természetes folyamat, amelynek során a szerkezetek üzemelési jellemzői az eltelt idő és/vagy a használat mértékével többé-kevésbé arányosan változnak. A folyamat során ezek műszaki jellemzői az előírásoktól eltérően fokozatosan változnak az idő előrehaladásával. Ezek eleinte működési zavarokat, majd meghibásodásokat okozhatnak.

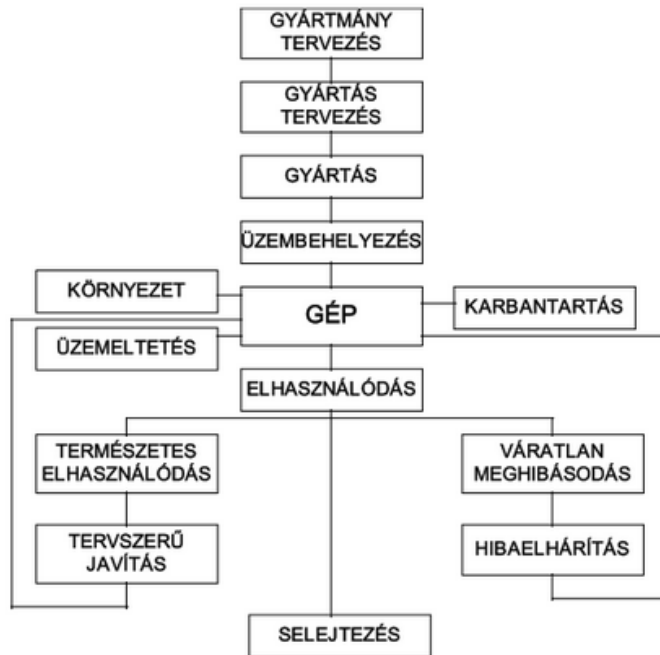
A különféle szerkezeteket üzemeltetésük során olyan hatások érik, amelyek használati értéküket csökkentik, használhatóságuk elvesztését eredményezik.

A 2.1 ábra a szerkezeteket ért értékcsökkentő hatásokat szemlélteti.

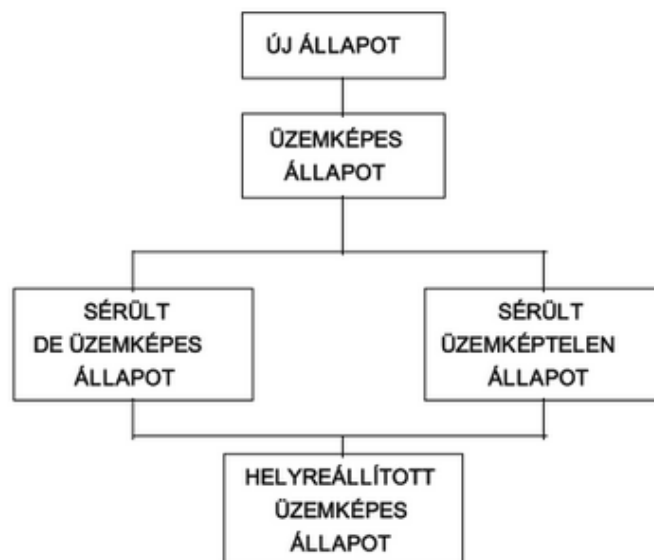


2.1. ábra: A szerkezeteket ért értékcsökkentő hatások. [7]

A 2.2 ábra viszont a károsodási és helyreállítási folyamatot mutatja be a gyártmánytervezéstől a selejtezésig. A 2.3. ábra a károsodási folyamat és a műszaki állapot összefüggését érzékelteti.

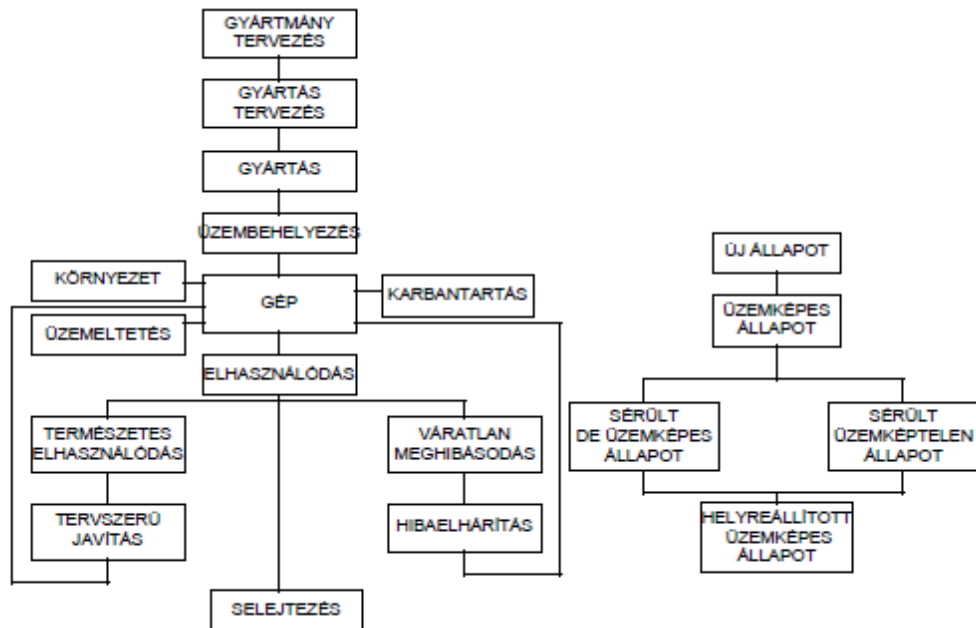


2.2. ábra: Károsodást folyamat és a helyreállítás összefüggése [7]



2.3. ábra: A károsodást folyamat és a műszaki állapot összefüggése [7]

A két utóbbi ábrát egymás mellé szerkesztve (2.4 ábra) a károsodási folyamat, a műszaki állapot és a helyreállítás összefüggései azonos szinteken láthatók.



2.4. ábra: A károsodást folyamat a műszaki állapot és a helyreállítási összefüggései [7]

Károsodásnál [1] a szerkezetet üzemelés közben olyan hatások érik, melyeknek következtében funkciójának ellátására fokozatosan alkalmatlanná válik. A tönkremenetel leggyakoribb okai:

Egy önmagában dolgozó gépnek vagy egy gépcsoport (gyártórendszer) adott részegységének meghatározott funkciókat kell ellátnia a termelés folyamatosságának érdekében.

A gépeket azonban, mint tudjuk üzemeltetésük során folyamatosan és/vagy szakaszosan külső befolyások érik, amelyeknek következményeként használhatósági tulajdonságaik romlanak, használati értékük csökken, egészen addig, míg a részükre meghatározott feladatokat már nem tudják végrehajtani.

Ezen hatások olyan meghibásodásokat idéznek elő az alkatrész működésében, amelyek korlátozzák, vagy kizárják a rendeltetésszerű használatot.

ÉRTÉKCSÖKKENTŐ HATÁSOK					
JELLEGE	MŰSZAKI – FIZIKAI			TECHNIKAI – GAZDASÁGI	
MÓDJA	KÁROSODÁSOK			ELAVULÁS	VÉGFEHASZNÁLÁS
MEGJELENÉSI FORMÁJA	ELHASZNÁLÓDÁS	TÚLTERHELÉS	ÖREGEDÉS	GAZDASÁGTALAN ÜZEMELÉS	TELJES TÖNKRÉMENETEL
AZ IDŐBELI LEFOLYÁS JELLEGE					
JELLEMZŐ PÉLDÁK	-kopásnak kitett alkatrészek (siklócsapágyak, gördülőcsapágyak, fogaskerekek, stb.)	-sebességváltók, kapcsoló szerkezetek, csapágyak (kifáradás) villamos égők	-gép állvány vetemedések, elcsavarodások műanyag, és gumí alkatrészek elöregedése	-régí szerszámgépek, gőzmozdony, transzmissziós hajtás	-biztosító szeg, nyírócsapok, olvadóbiztosíték, csomagolás, puszkagolyó, stb.
He — a relatív használati érték I — a károsodás intenzitása					

2.5. ábra: Az értékcsökkentő hatások [1]

A károsító hatások két fő csoportra oszthatók [1]:

A technikai - gazdasági hatások akkor is kifejthetik káros befolyásukat, ha az adott gép, vagy szerkezet egyébként üzembiztos. Az értékcsökkentő hatások módja szerint ez a csoport elévülés és végfelhasználásra bontható

A műszaki- fizikai értékcsökkenő hatások, ezek fejezik ki mindazon tényezőket, amelyeket összefoglaló néven károsodásoknak nevezünk. A károsodások a hétköznapi életben méret, vagy alakváltozásokban, az egyes részek geometriai viszonyainak megváltozásában, illetve a felületek minőségének, vagy más egyéb tulajdonságainak megváltozásában nyilvánulnak meg. Jelentkezési formájuk szerint három csoportba sorolhatók: elhasználódás túlterhelés, öregedés.

Ezeket a hatásokat az 2.5 ábra foglalja össze.

A meghibásodások csoportosítása a 2.6 ábra alapján a következők lehetnek:

<p>1. Szerkezet szerint</p> <ul style="list-style-type: none"> • szerelt egységek meghibásodása • alkatrészek, szerkezeti elemek meghibásodása 	<p>2. A hatás jellege szerint</p> <ul style="list-style-type: none"> • üzemi alkalmasság részleges csökkenése (hibás működés) • működésképtelenség
<p>3. Megjelenési forma szerint</p> <ul style="list-style-type: none"> • üzemeltetési jellemzők változása • méretváltozás, illesztési hiba • alakhiba, felületi hiba • alakváltozás (görbeség, elcsavarodás) • repedés, törés • felületi réteg tulajdonságainak változása • anyagösszetétel vagy szövetszerkezet megváltozása 	<p>4. Az elhasználódás mechanizmusa szerint</p> <ul style="list-style-type: none"> • súrlódás kopás • abrázió, erózió • kavitáció • anyagfáradás • korrózió, öregedés • hő okozta változás
<p>5. Hiba oka szerint</p> <ul style="list-style-type: none"> • konstrukciós hiba, anyaghiba • gyártási hiba • helytelen üzemeltetés • fenntartási hiányosságok • természetes elhasználódás 	

2.6. ábra: A meghibásodások csoportosítás [1]

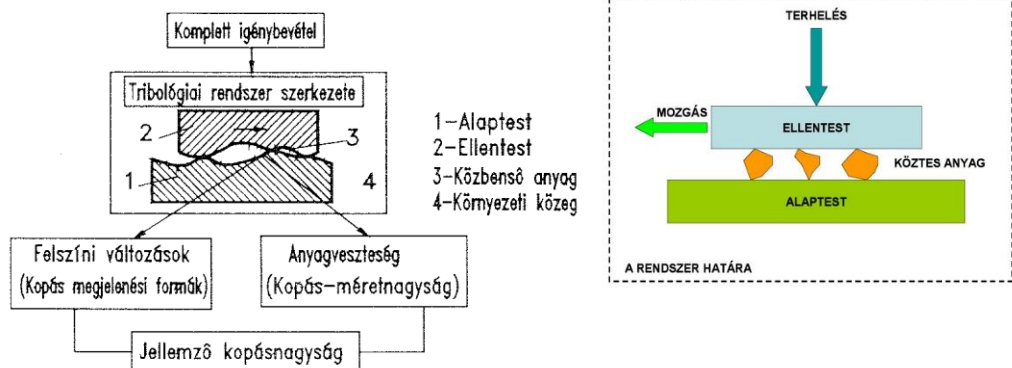
A károk módja azt mutatja meg, hogy egy adott károsodás hogyan megy végbe. A használati tulajdonságokban bekövetkező változások leírása a károk hatására utal. A kárt okozó igénybevételek a károk. A kár okozója annak a termelési folyamatnak a leírása, amely területről a meghibásodás eredete származik (objektív, szubjektív okok). A károk keletkezése a károsodás időbeli lefolyás jellegére utal. A kár megjelenési formája arra ad felvilágosítást, hogy a hibakeresés során feltárt hibáknak, károknak milyen a külső megjelenési formája. A károsító hatások igen sok félék lehetnek, előfordulásuk előre nem meghatározható sztochasztikus jellegűek. A károsodások össze is kapcsolódhatnak, ami nehezíti a hibák feltárását. Az iparban a legtöbb kárt a tervezési, gyártási, valamint az üzemeltetési hibák okozzák. Gyártási, előállítási hibák lehetnek méret vagy alakhibák, hegesztési, ragasztási, szerelési, valamint beállítási hibák. Ezek rosszul megválasztott

technológiából, technológia adatokból, valamint emberi mulasztásból keletkeznek, és hatásuk a gép korai szakaszában is jelentkezhet. Üzemeltetés során a gépeket károsító folyamatok főbb megjelenési formái:

- az elhasználódás esetben valamilyen tömegcsökkenéssel járó felületpusztulási folyamatra utal. Három fő okozója van a kopás, a korrózió és a kifáradás.
- a túlterhelés, amelyet a műszaki szerkezetek helytelen használata, valamint az elhasználódás túlzott mértéke okozhat.
- az öregedés az anyag belsejében végbemenő folyamat, amely az igénybevételtől függetlenül jön létre, és még az alkatrész hasznos tervezett élettartamán belül, főként szilárdságcsökkenésben, anyagszerkezeti jellemző változásában (romlásában) és deformációjában nyilvánul meg.
- A károsodás bekövetkezhet: terhelés hatására, termikus hatásra, tribológiai hatásra (kopás), korróziós hatásra, besugárzás hatására.

2.2 Kopás

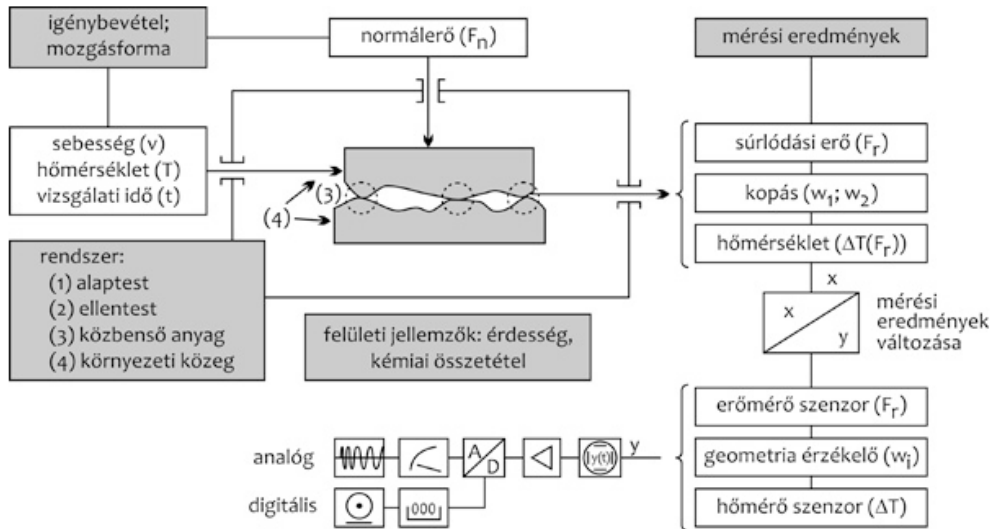
A kopás az egymással érintkező anyagok relatív elmozdulásakor fellépő súrlódás miatt következik be. A kopás lényegében a szilárd anyagok felületének anyagvesztése, amelyet kizárólag vagy esetleg más igénybevétellel társult mechanikai igénybevétel okoz.



2.7. ábra: Elemi tribológiai rendszer I. [1]

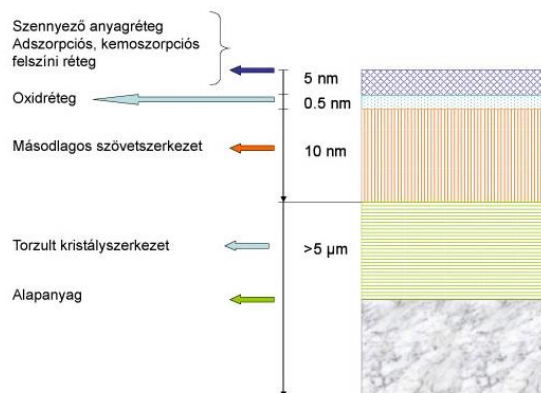
A kopás során a felületekről apró részecskék válnak le, melyek az alkatrész vagy alkatrészek méret, illetve tömegcsökkenését, az üzemeltetés szem pontjából káros elváltozást okozzák. Az elváltozások kiterjedhetnek a felület fizikai, kémiai szövetszerkezeti, mechanikai tulajdonságainak módosulására is, valamint a munkavégző képesség csökkenésén kívül számos további meghibásodás, repedés, törés berágódás forrásai lehetnek. Ezek később az alkatrész, majd az egész berendezés, gép teljes tönkremenetelét okozhatják. A kopási folyamat nem anyagvonatkozású, hanem rendszervonatkozású jellemzőként írható fel. A kopásnak kitett elemi tribológiai rendszer értelmezését a 2.7 ábra szemlélteti. A 2.8 ábra egy elemi tribológiai rendszert mutat be.

Fontos megjegyezni, hogy a különböző problémák megoldásához pontosan ismerni kell az adott tribológiai rendszert, valamint az érintett tudományterületeket (mechanika anyagtudomány, fizika, kémia). [4]



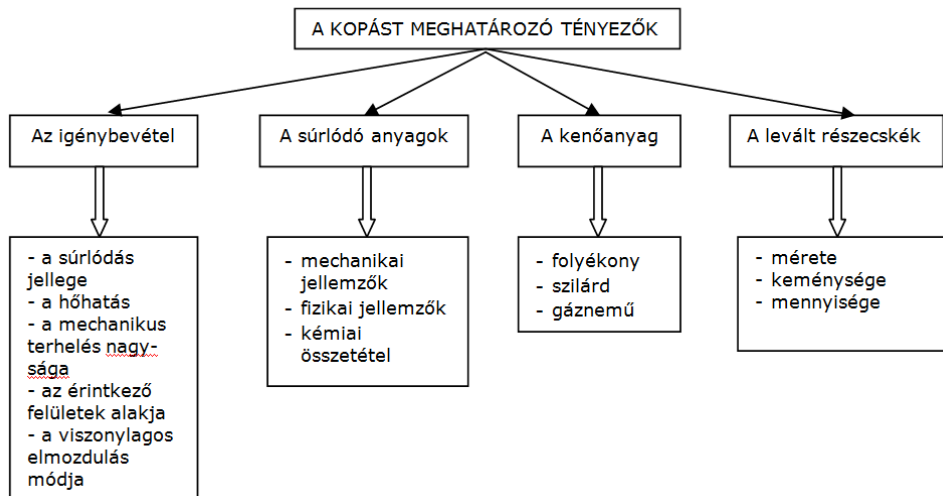
2.8. ábra: Elemi tribológiai rendszer II. [4]

A tribológiai rendszer két összetevő felületéből és azok környezetéből áll, amelyek egymással mozgó kapcsolatban vannak. A kopás jellegét, lefolyását és mértékét az alapanyag, az összetevők kialakítása, valamint a köztes anyagok, a környezeti befolyások és az alkalmazási feltételek határozzák meg. Alaptest – ellentest esetében a geometriai kialakítás, mechanikai, fizikai jellemzők, szövetszerkezet kialakítása, felületi egyenetlenség, felszíni rétegek vannak hatással a rendszerre. A felületek szerkezetét a 2.9 ábra mutatja.



2.9. ábra: A felület szerkezete [3]

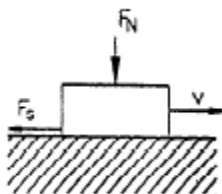
Adott gép vagy berendezés egy adott alkatrésze milyen mértékben és milyen jellegzetes ismérvek szerint kopik, rendkívül sok tényező határozza meg, melyeket a 2.10 ábrán foglaltuk össze.



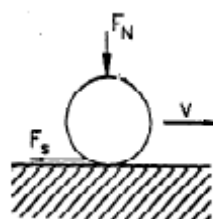
2.10. ábra: A kopást meghatározó tényezők [1]

Az alkatrészek kopásának legmeghatározóbb jellegzetessége a súrlódás. A súrlódás, amely gyakorlatilag a mozgást akadályozó hatás, azaz olyan mozgás ellen ható jelenségek összege, amely egymással érintkező felületek relatív (viszonylagos) elmozduláskor játszódik le. A 2.11 ábra foglalja össze a viszonylagos elmozdulások lehetséges módjait.

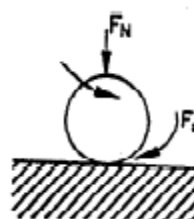
CSÚSZÓ



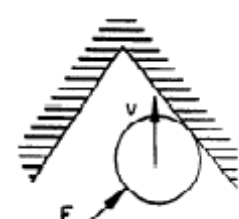
GÖRDÜLŐ



FÚRÓ



LÖKÉSSZERŰ



2.11. ábra: Viszonylagos elmozdulás módjai [1]

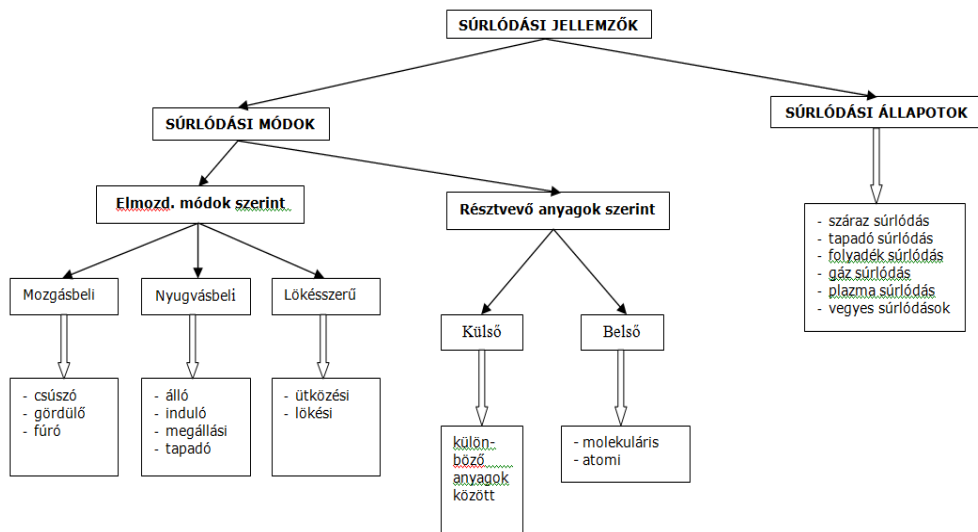
A Coulomb által alkotott klasszikus képlet a $\mu = F_s/F_N$ alapján a következő megállapítások tehetők a súrlódásról.

(ahol a μ = a súrlódási tényező; F_s = a súrlódó erő; F_N = a felületeket összeszorító erő)

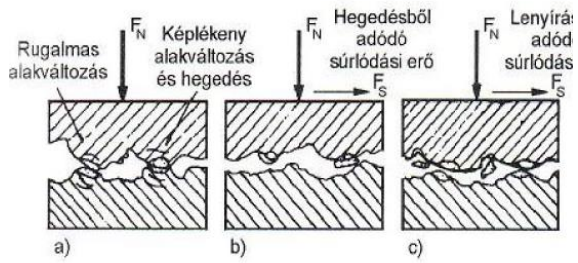
- a súrlódó erő arányos a terheléssel ($F_s = \mu F_N$)
- a súrlódási tényező független az érintkező felületek nagyságától és a csúszási sebességtől, viszont függ a felületek minőségétől és az anyagminőségétől
- a nyugvó súrlódási tényező jóval nagyobb a mozgó súrlódási tényezőtől.

2.3 A kopás fajtái

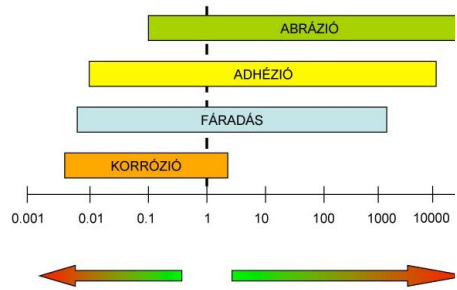
Mielőtt a kopásmechanizmusokat tárgyalnánk, fontos a kopás fogalmát bevezetni. A kopás a szilárd testek felületén bekövetkező anyagvesztés, amelyet szilárd, cseppfolyós vagy légnemű közeggel való érintkezés és relatív elmozdulás okoz. (2.12 ábra). Használat során azonban az érintkező felületek oxidálódhatnak, így nemcsak anyagvesztés, de súlytöbblet is kialakulhat. A kopás csoportosítható a kopott felület létrehozó mozgásformák, a kopást létrehozó mechanizmusok, a kopott felület jellegzetességei alapján (2.13 ábra). A súrlódó felületeken kialakuló jellegzetes elváltozások, mintázatok alapján felismerhetők az uralkodó kopási mechanizmusok. A 14 ábra a kopás erősségét szemlélteti. A gyakorlat legtöbbször Burwell megközelítése szerint a kopást okozó folyamatok szerint osztályozza a kopásokat. Önmagában egyik kopás sem létezik, az uralkodó kopási minta alapján lehet elkülöníteni őket.



2.12. ábra: A súrlódási módok és állapotok [1]

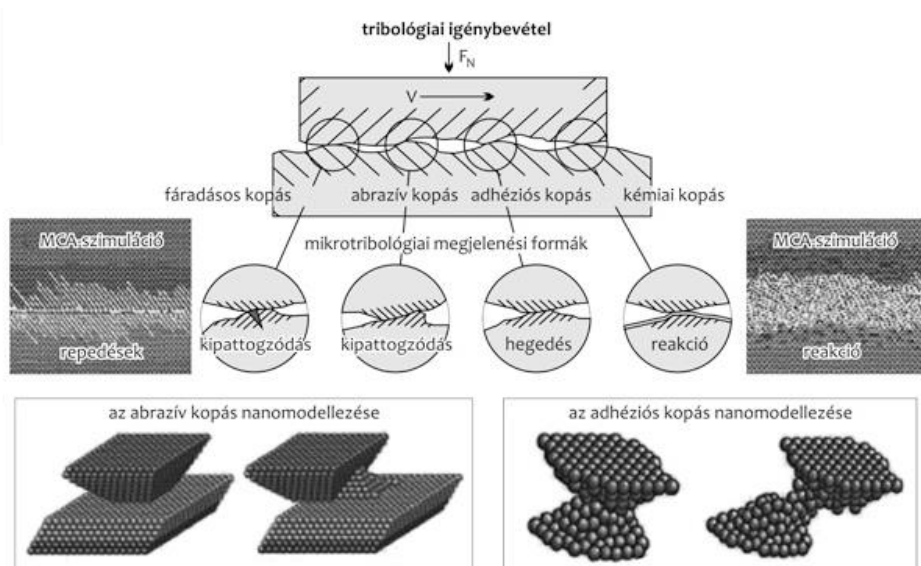


2.13. ábra: A kopás folyamata. [3]



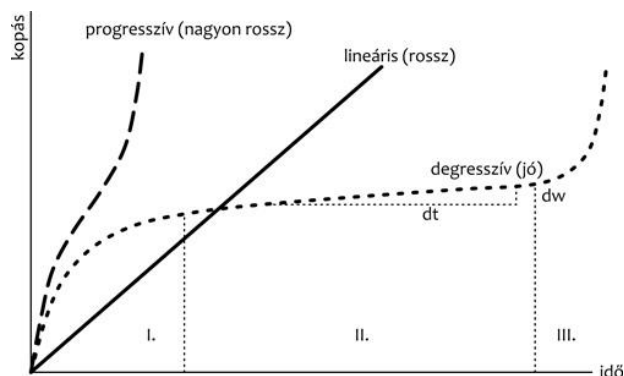
2.14. ábra: A kopás erőssége [3]

A 2.15 ábra a különböző kopásmechanizmusokat mutatja be.



2.15. ábra: Kopásmechanizmusok [4]

Ha a létrejött kopást az idő függvényében ábrázoljuk, akkor a kopásdiagramhoz jutunk. A 2.16 ábra a lejátszódó kopásfolyamatokat mutatja be. A progresszív kopás során a kezdeti kopássebesség nagy. Az idő haladtával ez a sebesség nem csökken, hanem egyre növekszik. Ennek a kopásfolyamatnak az oka lehet hibás konstrukció, nem megfelelő kenés stb. A lineáris kopás kezdetben, a degresszív kopáshoz képest kisebb, viszont egy bizonyos időpillanat után (két görbe metszéspontja) nagyobb kopássebességgel rendelkezik.

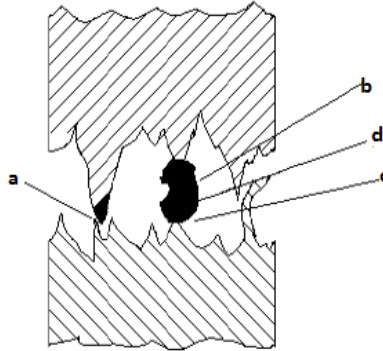


2.16. ábra: A kopás jellegének és nagyságának változása [4]

A kopásgörbe három szakaszra osztható: az alkatrész bejáratódásának szakasza (I), a hasznos üzem szakasza (II), valamint az instabil szakasz (III). Bejáratáskor a kezdeti nagy

kopássebesség egy bizonyos idő elteltével csökken, és közel állandó értékre áll be. Ezt a szakaszt nevezzük a hasznos üzemi szakasznak, ahol az alkatrészek a különböző terhelésváltozásra kis mértékben reagálnak, a kopássebesség közel állandó. Egy bizonyos üzemóra elteltével (ez általában jóval nagyobb a tervezett üzemóránál) a kopássebesség ismét megnő és a rendszer instabillá válik, azaz az alkatrész tönkremeneteléhez vezet [9].

A kopás alapfolyamatai (2.17 ábra)



2.17. ábra: A kopás alapfolyamatai [1]

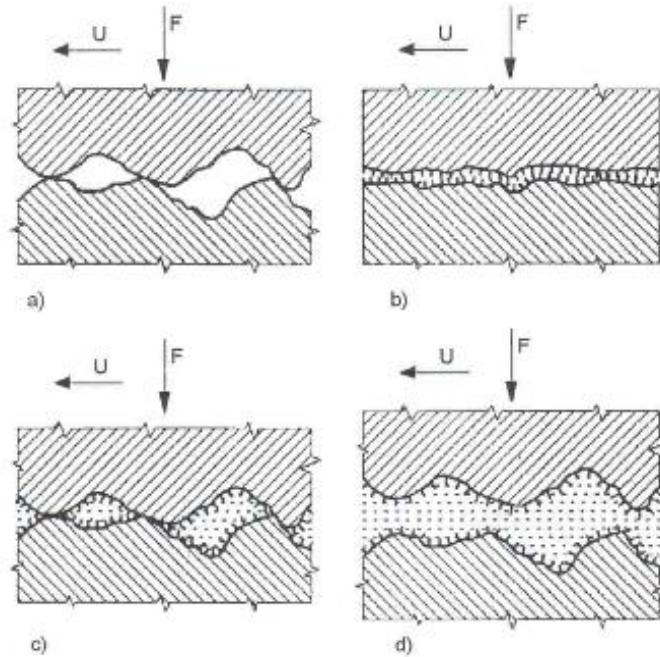
a) érdességi csúcsok lenyíródása, b) alakváltozások a rugalmas tartományban, c) alakváltozások a képlékeny tartományban (maradó alakváltozás), d) molekuláris erőhatások (adhézió), e) felhevülés a mikrogeometria tartományban, f) fizikai vagy kémiai anyagváltozások (pittingesedés, oxidáció, reakciós termékek koptató

Az érintkező teste felületei közti súrlódást a kenésállapot jelentősen befolyásolja, erre mutat példákat a 2.18 ábra. A súrlódás káros hatásainak csökkentésére a következő módok lehetségesek, amelyek a 2.19 ábrán láthatók.

A súrlódási tényező függ: az érintkező felületek anyagpárosításától, a kenésállapottól, a terheléstől, a felület geometriai és érdességi viszonyaitól, a csúszás sebességétől, a hőmérséklettől stb.

Kopásformák Burwell megközelítése alapján:

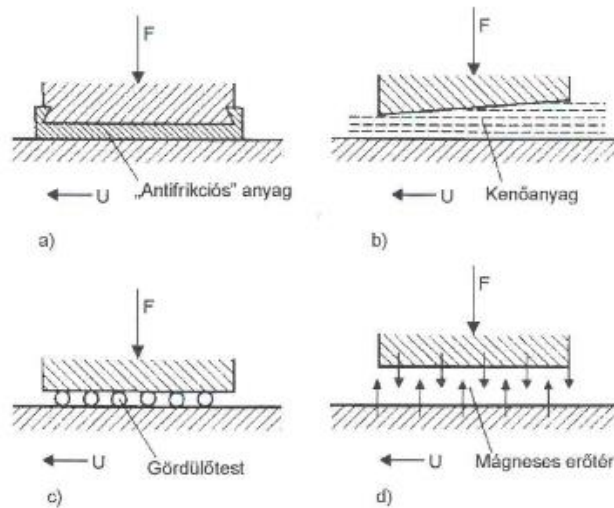
- adhéziós (elsőrendű hideghegedéses, másodrendű meleghegedéses),
- abrázíós (kéttest és háromtest kopása),
- fáradásos (felszíni kifáradás, pitting),
- mechano-kémiai,
- kavitációs,
- fretting/súrlódási korrózió,
- eróziós.



2.18. ábra: A súrlódás a kenésállapot szerint [5]

- a) száraz ($\mu \approx 0,05 \dots 1$),
- b) határ ($\mu \approx 0,1$),
- c) vegyes ($\mu \approx 0,01 \dots 0,1$),
- d) folyadék súrlódás ($\mu \approx 0,01$),
(gázsúrlódás $\mu \approx 0,0001!$)

A fretting és az eróziós kopás nem egyetlen önálló folyamat, hanem több folyamat egyidejű vagy egymást követő megjelenése miatt alakul ki.



2.19. ábra: A súrlódás káros hatásának csökkentési lehetőségei [5]

- a) megfelelő siklófelület anyaggal,
- b) kenőanyagokkal,
- c) gördülőtestekkel,
- d) mágneses erőterrel.

Kopási mechanizmusok – elemi folyamatok (2.20 ábra):

- Adhéziós kopás (hegedéses kopás)
- Abráziós kopás
- Fáradásos kopás (felszíni kifáradás, pitting)

Kémiai hatásokon alapuló kopási mechanizmusok:

- Oxidációs kopás
- Súrlódási korrózió
- Eróziós kopás
- Kavitációs kopás

2.3.1 Adhéziós kopás

Az adhéziós kopást befolyásoló tényezők közül fontos a két súrlódó felület anyagának adhéziós hajlama, valamint vegyi reakcióképessége, különösen oxidációs hajlama. A hegedéses kopás egymáson viszonylag kis sebességgel ($v_{\max} = 2\text{m/s}$) elmozduló, de nagy felületi nyomás hatására súrlódó, elsősorban fémek között jön létre folyadékkenés vagy felületi oxidhártva hiányában. Az érintkezési pontokon molekuláris

fémes kötés (adhéziós kötés, vagy hideghegedés) jön létre. A felületek elroncsolódásának, kopásának mechanizmusa a következő

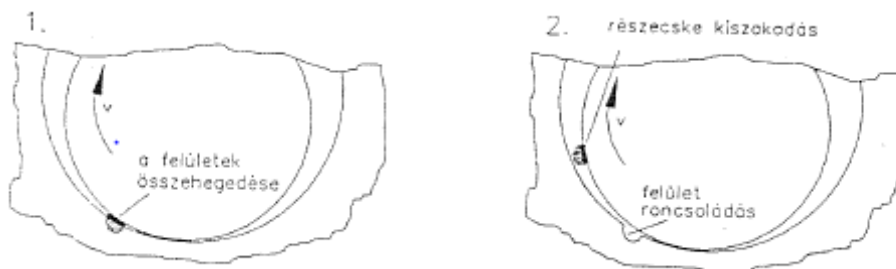
Kölcsönhatásban levő elemek	Mozgás forma	Kopás forma	Kopási folyamat			
			kifáradás	abrázió	adhézió	vegyi
Szilárdtest/szilárd test	csúszás	csúszó kopás	igen	igen	igen	igen
Szilárdtest/szilárd test	gördülés	gördülő kopás	igen	igen	igen	igen
Szilárdtest/szilárd test	ütközés	ütközéses kopás	igen	igen	igen	igen
Szilárdtest/szilárd test	rezgés	Súrlódási korrózió	igen	igen	igen	igen
Szilárd test/folyadék	áramlás	kavitációs kopás	igen	igen	nem	igen
Szilárd test/részecskék	áramlás	eróziós kopás	igen	igen	nem	igen

Kopási folyamat	A kopott felület állapota
Kifáradás	repedések, kitérődezések
Abrázió	karcok, hornyok, barázdák
Adhézió	dudorok, pikkelyek, gödrösödések
Tribokémiai	reakció termékek: bevonatok

A kopási folyamatok megváltoztatják a súrlódó felületet, jellegzetes elváltozásokat, felületi mintázatot alakítanak ki, amelyek segítenek az uralkodó kopási folyamat felismerésében, azonosításában.

2.20. ábra: A kopás fajtái [3]

A súrlódó párok között az egyes érintkezési pontokon molekuláris, fémes kötélésre. A további elmozdulás során a szétválás az összehegedt felületek környezetének megkeményedése miatt nem az érintkezési felületen, hanem attól eltérően, a lágyabb anyagban következik be, így a szilárdabb fém részecskéket szakít ki a kevésbé szilárd felületből. A kiszakított részecske a nagy felületi nyomás hatására elridegedik, felkeményedik és a további elmozduláskor mint szilárd csiszolóanyag abrázív módon koptatja, karcolja a felületet. E hatásokból kifolyólag az adhéziós kopás viszonylag rövid idő alatt nagy méretváltozásokat okoz, azaz nagy az ún. kopási sebesség (10-15 $\mu\text{m}/\text{h}$). A kopás folyamatát a 2.21 ábrán kísérhetjük figyelemmel.

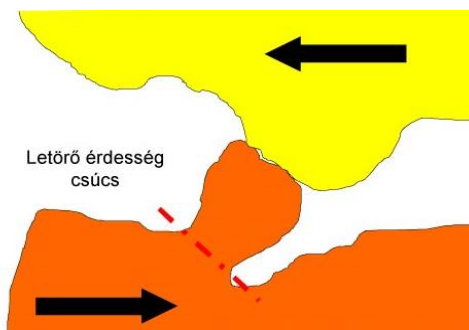


2.21. ábra: Az adhéziós kopás folyamata [1]

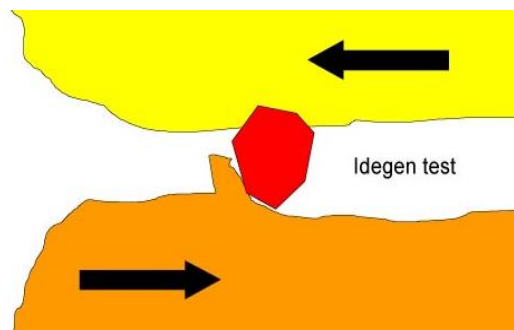
Az adhéziós kopás szempontjából lényeges az anyagok oldhatósága, fontos, hogy elektrokémiai potenciálja kicsi legyen. Az alumínium magas elektrokémiai potenciálja berágódást okoz. Ezzel szemben az ón, ólom, réz, ezüst, nemesfém bevonatok alacsony vegyi reakcióképességűek. A tiszta fémek erős adhéziós hajlamúak, míg a fémötvözetek, kompozitok ezzel szemben kedvezőek. Az adhéziós kopás egyik különleges esete az ún. melegkopás, amelynek mechanizmusa az előzőekben leírtakkal egyezik meg, azonban ez 800 - 900 °C hő- mérsékleten és a hidegkopásnál jóval nagyobb súrlódási sebességek mellett következik be. A súrlódási hő hatására a fémfelületek felmelegednek, kilágyulnak, részlegesen megolvadnak. A melegkopás tehát nagy fordulatszámú, erősen terhelt alkatrészeken fordul elő, mint pl. forgattyús tengelyek csapjain, bütykös tengelyeken, fogaskerekeken, míg a hideghegesedés a lassú járatú, de nagy terhelésű tengelyek és csapok elhasználódására jellemző.

2.3.2 Abráziós kopás

Az abrasziós kopás folyamán a keményebb felület, kiálló csúcsai elmozdulás közben mélyedéseket, karcolásokat hoznak létre a lágyabb felületben, ill, forgácsolják azt. Ez a kéttest-abráziós kopása 2.22 ábra. A lágy anyag mennyisége folyamatosan csökken.



2.22. ábra: Kéttest abrasziós kopása [3]

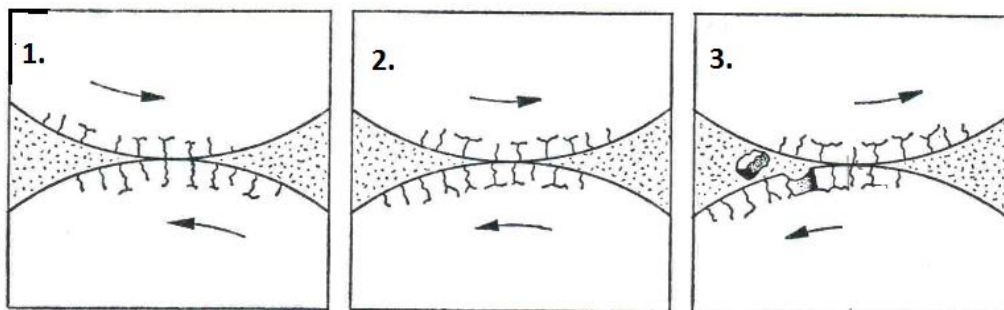


2.23. ábra: Háromtest abrasziós kopása [3]

Háromtest-abráziós kopás akkor következik be, ha a két súrlódó felület közé viszonylag apró szemű, kemény csiszoló anyag, abraszív anyag kerül. A kemény, éles abraszív anyag helyt képlékeny alakváltozást okoz. Karcolja a felületeit, abból mikroforgácsokat választ le 2.23 ábra. Az átlagosan 7-8 µm nagyságú idegen, vagy a két anyag egyikéből lepattogzott és felkeményedett szemcse megsokszorozza a kopás sebességét. Az idegen anyag általában por a saját anyag pedig lehámlott oxidréteg lehet, amely úgy fejt ki felületroncsoló hatását, hogy a lágyabb anyagba beágyazódva védi azt a keményebb szemcse szemben, eközben mikroforgácsokat választ le a keményebb felületéről. Így viselkednek például egy heterogén szövetszerkezetű fémek felületei, amelyek védik saját "alpmátrixukat", az ellendarabot azonban elkoptatják.

2.3.3 Fáradásos kopás (felszíni kifáradás, pitting)

A súrlódó felületek intenzív elroncsolódása, főleg ismétlődő gördülő mozgás, dinamikus igénybevétel esetén. Az ismétlődő feszültségek kifárasztják a felületi réteget, abban mikrorepedések keletkeznek, a repedések továbbhaladása a felületi réteg lepattogzását, gödrösödését, pittingesedését okozza. A fáradásos kopás előre haladási folyamata a 2.24 ábrán látható. A fáradásos kopás főleg gördülő csapágyakban tapasztalható. A felület kifáradása szempontjából a legkritikusabb az érintkezési felület



2.24. ábra: A fáradásos kopás előre haladási folyamata (1,2,3) [1]

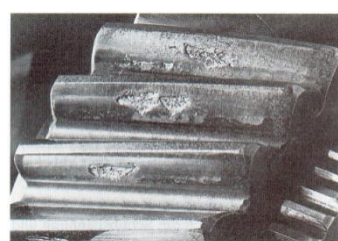
szélein nem sokkal a felület alatt ébredő, a felülettel párhuzamos nyírőfeszültség (τ_{\max}). A lehámlás mértéke függ az érintkező felületek alakjától, mégpedig úgy, hogy legkisebb a kipattogzás a kör, és legnagyobb a vonal menti terhelés esetében (2.25 ábra). A kipattogzások mélysége az ébredő max. nyírőfeszültség mélységével azonos. A repedések keletkezését gyorsítják a felületi rétegekben eleve meglévő saját feszültségek, inhomogenitások, felületi repedések (pl. hőkezelés, megmunkálásból), valamint a kenőanyag hidrodinamikai nyomáeloszlása, amely



Gördülőcsapágy golyó



Gördülőcsapágy gyűrűjén



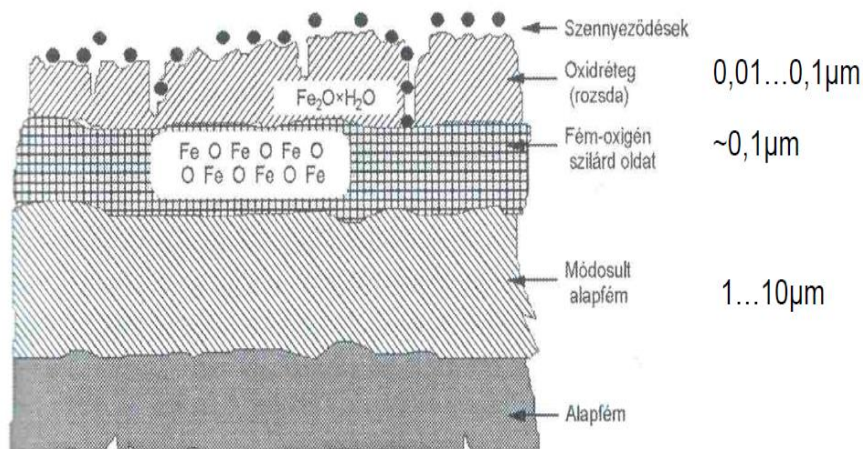
Fogaskerék fogfelületén

2.25. ábra: Példák fáradásos kopásra [1]

ún. elasztohidrodinamikai kenési állapot esetén nem követi a Hertz- féle nyomáeloszlást, hanem a kilépési oldalon nyomáscsúcs keletkezik, a pittingképződés kiindulási helye. Ezek a helyek további meghibásodások forrásai lehetnek, másodlagos repedések, kitöredezések indulhatnak ki belőlük.

2.3.4 Mechano-kémiai kopás

Elsősorban fémek súrlódásakor alakul ki, és döntő mértékben befolyásolja a súrlódó testek és a közé bejutó közeg (oxigén) dinamikus (vegyi és mechanikai) kölcsönhatása [5]. A súrlódási folyamat alatt az igénybevételek hatására a felszíni anyagréteg átalakul (kép-lékenyen deformálódik, kristályszerkezete széttöredezik, a mozgás irányában rendeződik), másodlagos - védő - szövetszerkezet alakul ki. Ugyanakkor a súrlódásból származó igénybevétel terheli is a kialakult felületi védőréteget, deformálja, feszültségeket ébreszt benne, repedéseket idéz elő, növeli azokat a felszín környezetében, ami a végül a védőréteg lekopásához vezet (aktivációs energia). Ha az igénybevételek hatására a védőréteg kopás sebessége meghaladja újraképződésének sebességét, a védőhatás fokozatosan megszűnik, az alsó anyagréteg megsérül, a szerkezet működőképességét akadályozó súlyos felületi károsodások (berágódás, bemaródás, pitting stb.) alakulnak ki. Ebben az esetben a kopási részecskék nagyméretűek, és rendszerint sok fémeket tartalmaznak. Tribológiai szempontból kívánatos egy tartós, kopásálló, vékony felületi réteg a súrlódó felületeken - ami lassan, fokozatosan kopik, miközben állandóan újra képződik - melynek kialakulásában a kenőanyag (adalék) vegyi reakcióképessége döntő szerepet játszik (2.26 ábra).

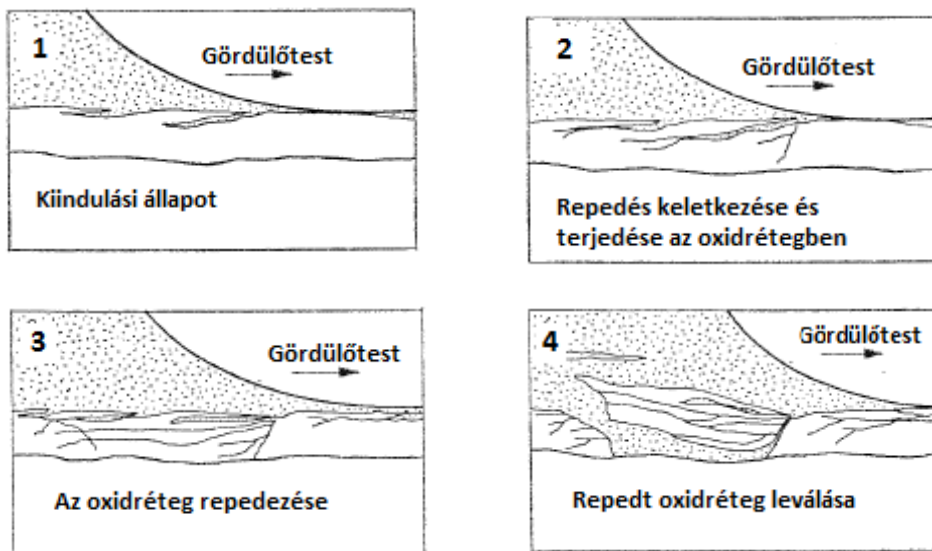


2.26. ábra: A mechano-kémiai kopás súrlódó felületének szerkezete [5]

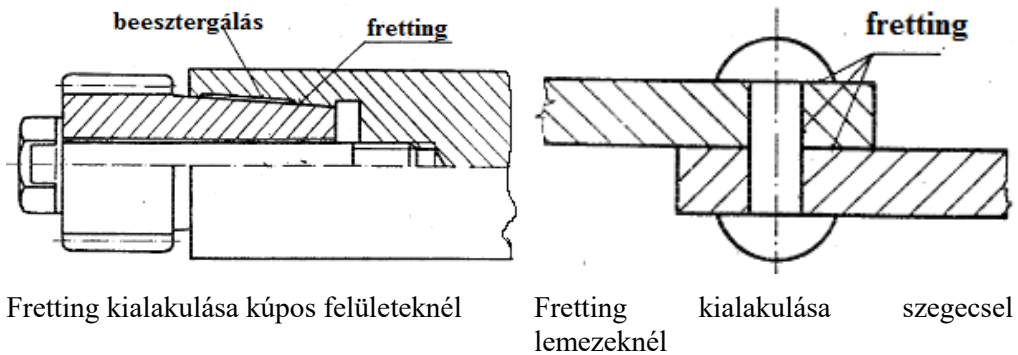
2.3.5 Oxidációs kopás

Ez a kopásforma olyan fémeken, illetve olyan körülmények között fordul elő, amikor a nagy terhelés okozta alakváltozás következtében a felület alatti vékony réteg szilárd oldattá alakul át, azaz igen kemény, rideg fémoxid vegyületek képződnek. Az oxigén a rácshibák melletti aktív fématomokat kihasználva jut be a felületbe és például az acél esetében FeO vas-oxidot alkot, amely oxigéntartalma 10 - 50-szerese a normál acélénak, és keménysége eléri az 1100 - 1400 HV értéket. Az oxidrétegek, melyek mikroszkóppal jól kimutathatóak, az alkatrészek egymáson való további elmozdulásának következtében leválnak a felületről. Az oxidréteg rendkívül vékony, hártyszerű, leválási folyamatuk az adhéziós kopáshoz viszonyítva igen lassúnak mondható. A kopási sebesség csupán 0.1-

0.5 $\mu\text{m/h}$, lassú folyamat. Abban az esetben, ha a felületbe nem diffundál be az oxigén, a kopási folyamat felgyorsul, Argon atmoszférában 10-szer nagyobb a kopás, mint levegőn, ennek megfelelően a súrlódási együttható és a súrlódó felületek hőmérséklete lényegesen nagyobb és illetve ott, ahol valamely más gáz kiszorítja az oxigént. Az oxidációs kopás mind csúszó, mind gördülő súrlódás hatására bekövetkezik, pl. hengerperselyek, fogaskerekek felületén, gördülőcsapágyakban fordul elő kisebb terhelések esetében, mivel a nagy felületi nyomás esetében már a kopás adhéziós jellegű lesz. Az oxidáció kopás folyamatát a 2.27 ábra szemlélteti.



Ha ezek az 2.27. ábra: Az oxidációs kopás folyamata [1] elmozdulások elég nagyok, elnyírják az egymáshoz szorított szilárd testek tényleges érintkezési felületén kialakult atomos-molekuláris kapcsolatokat. A súrlódásos oxidáció kopási sebessége nagy, tehát gyors kopást, illetve berágódást okoz. E folyamat az érintkezési felületen helyi kopást és kezdődő fáradt repedést okozhat, ami az anyagok kifáradási határát drasztikusan csökkenti. A gépészetben a fretting előfordulása igen gyakori azokon a szerelt egységeken, ahol valamilyen eredetű vibráció lép fel. Szoros illesztésű alkatrészek, szegecselt szerkezetek (2.28 ábra), elektromos érintkezők esetében szinte mindennapos problémát jelent.

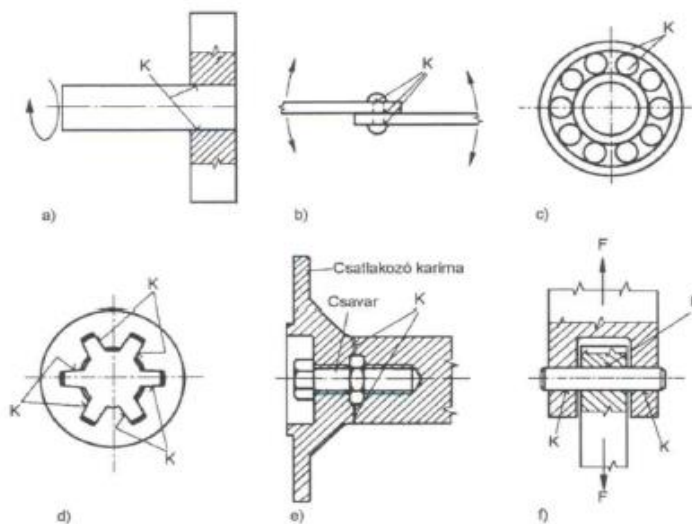


2.28. ábra: Az oxidációs kopás folyamata [1]

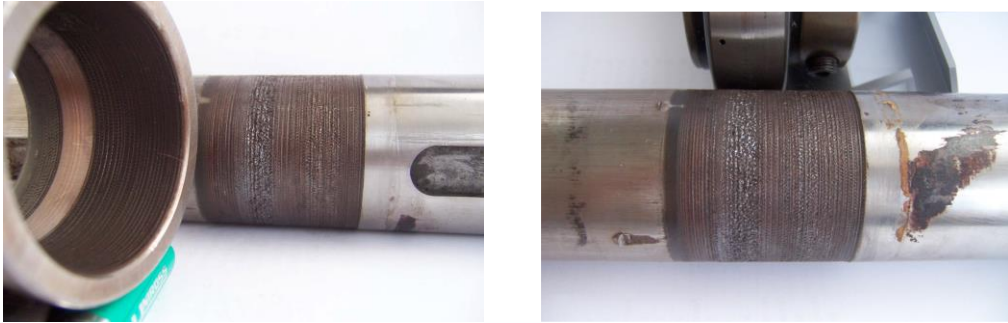
2.3.6 Súrlódási korrózió (fretting kopás)

A kopási folyamatok egyik speciális esete a súrlódási korrózió, vagy fretting kopás, mely akkor keletkezik, ha az illesztett egymással érintkezésben levő felületek dinamikai igénybevétel hatására az alkatrészek kis amplitúdójú, közepes (5-100 Hz) frekvenciás rezgéseket végeznek. A súrlódási korrózió maximuma 8 μm -es amplitúdónál van. Így az érintkezési azaz kontakt zónában alternáló súrlódás jön létre

Tipikus példa a fretting keletkezésére a csapágygyűrű és tengely vagy csapágyház érintkezési felülete. A gépészetben a fretting előfordulása igen gyakori azokon a szerelt egységeken, ahol valamilyen eredetű vibráció lép fel. Tipikus példa a fretting keletkezésére a csapágygyűrű és tengely vagy csapágyház érintkezési felülete. (2.29 ábra, 2.30 ábra)



2.29. ábra: Néhány példa a súrlódási korrózió előfordulási helyeire [5]



2.30. ábra: Az oxidációs kopás (fretting) folyamata (súrlódási folyamatot erős oxidáció kíséri) [5]

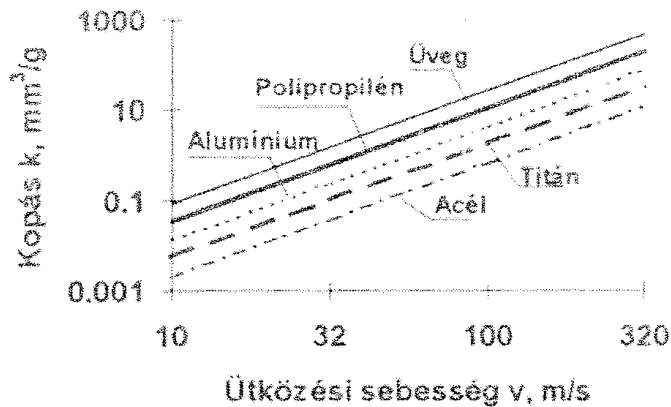
A kopástermékek színe acélon és vason vörös, alumíniumon és ötvözetein fekete. A súrlódási korrózió kis csúszások hatására is létrejöhet.

2.3.7 Eróziós kopás

Az eróziós kopást nem súrlódás, hanem a szilárd testekhez ütköző, áramló közeg (pl. szennyvíz, poros gázok, homok, iszap stb.) részecskéi által okozott igénybevétel hozza létre. Az eróziós kopás az anyagok áramlásakor a szilárd falhoz ütköző részecskék mozgási energiájának ütközési energiává történő átalakulása során jön létre. A szilárd fal és a részecske rugalmasan és/vagy képlékenyen deformálódik, ridegen törik és a becsapódó részecske a falból anyagrészeket szakít ki. Az eróziós kopás nagysága a felületről leváló részecskék mennyiségével azonos. Az eróziós kopás függ: az ütközés irányától, az ütközés sebességétől, a részecske tömegétől, a kopásnak kitett anyag szilárdságától, keménységétől, alakváltozási képességétől, és a részecske szilárdságától, keménységétől, alakváltozási képességétől, méretétől és alakjától.

A kopás mértéke függ az anyag minőségétől, valamint a részecske becsapódási szögétől. A legnagyobb mértékű kopást szívós anyagoknál a 15 - 30 fokos szögben a rideg kemény anyagoknál pedig 90 fokos becsapódási szögben tapasztalhatjuk.

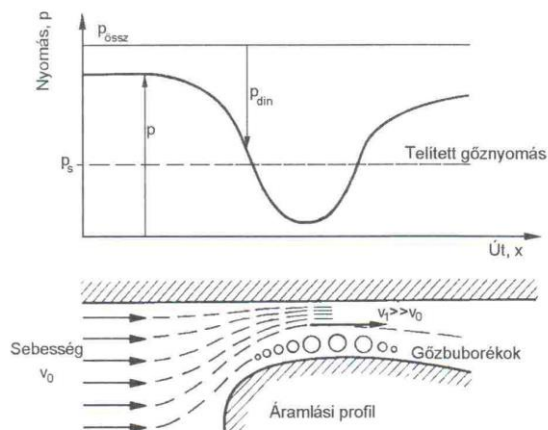
Eróziós kopásban nem értelmezhető a terhelő erő és a súrlódási úthossz. A kopás jellemzésére a fajlagos kopást használják $k = V/m$, melyet az egységnyi koptató részecske tömegre vonatkoztatott leváló anyag mennyiségével határoznak meg, ahol a k = fajlagos kopás [mm^3/g], V = leváló anyagmennyiség [mm^3 vagy mg], m = egységnyi koptató részecske tömeg [g] A leváló anyag mennyisége tömeggel is megadható. Miután az eróziós kopás a mozgási energiától függ, a legnagyobb hatást a kopás nagyságára az ütközési sebesség gyakorolja. (2.31 ábra)



2.31. ábra: Az ütközési sebesség hatása a kopás nagyságára [6]

2.3.8 Kavitációs kopás

A kavitációs kopás a szilárd testek áramló folyadékkal érintkező felületein alakulhat ki, ahol a kedvezőtlen áramlási viszonyok miatt a folyadékban oldott gázok apró buborékok formájában kiválnak, majd a felületnek ütközve nagy belső nyomásuk (kb. 1500 bar) miatt szétrobbannak, ami erős mechanikai igénybevételt okoz és lyukszerű kráteresedést eredményez. A buborékok összeomlásakor erős folyadékütközéseket idéznek elő a szilárdtest felületén. A folyadékütközés jelentős mechanikai igénybevételt jelent. Az ütközések hatására repedések indulnak el a felületről, és azok tovaterjedve lyukszerű krátereket okoznak. A kavitációs kopás lassan, lappangási idő után indul el (2.32 ábra).



2.32. ábra: A kavitációs kopás folyamata [5]

A legjobb ellenálló szerkezeti anyag az ausztenites szerkezetű mangánacél. A károsodás mértéke arányos a buborékok felületi energiájával, ezáltal függ a folyadék

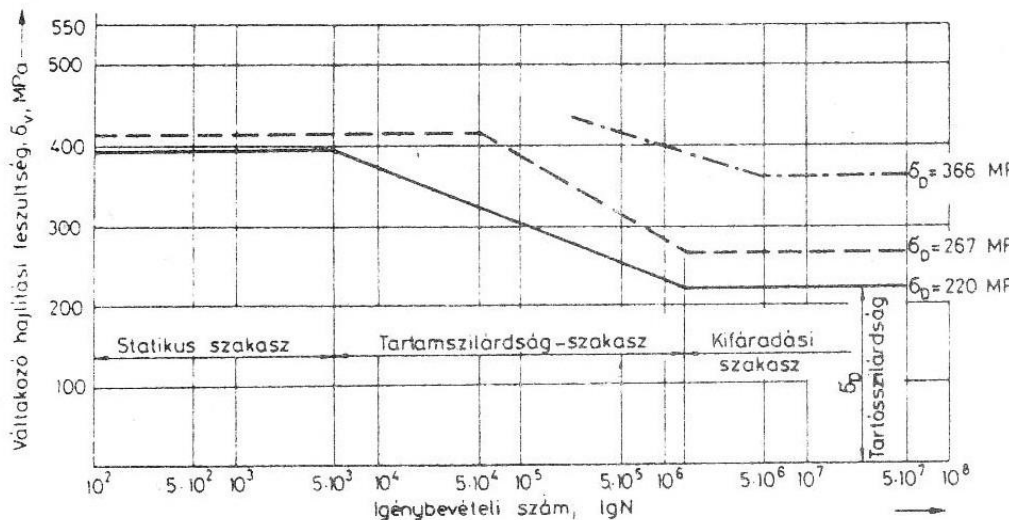
felületi feszültségétől, viszkozitásától, gőznyomásától. Jellemző példa a kavitációra a szivattyúlapátok, vagy motorcsónakok propellereinek kopása, ami odáig vezethet, hogy egy szivattyú, vagy propeller lapátozása egyszerűen elfogy a felületen jelentkező kopatathatások következtében (2.33 ábra).



2.33. ábra: Kavítáló hajócsavar [1]

2.4 Kifáradás

Mechanikából ismeretesek azok az igénybevételek, amelyek egy gépelem (forgó tengely, tárcsa, fogaskerék) működése közben az adott géprészt terhelik. Ezek az igénybevételek lehetnek statikusak, illetve dinamikusak. Statikus terhelésen időben és nagyságban állandó, míg dinamikus terhelésen időben és/vagy nagyságban, illetve irányában változó igénybevételeket értünk. A múlt század végén egy német mérnök, Wöhler, mégis azt tapasztalta vasúti tengelyek megfigyelése folyamán, hogy a megfelelő biztonsággal méretezett gépelemek bizonyos üzemidő elteltével az ismétlődő igénybevételek hatására eltörtek. Ezt a jelenséget laboratóriumban (ún. fárasztógépen) vizsgálva, az előbb említett alkatrészek anyagából próbatesteket készítve, Wöhler azt állapította meg, hogy a próbatestek annál később mennek tönkre, minél kisebb feszültséggel terhelte őket. A kísérleteknél gondosan feljegyezte az ún. igénybevételi számot, melynél a beállított terhelés törést okozott. A mérési eredményeit egy diagramban (2.34 ábra) foglalta össze, amely, mint látjuk aszimptotikusan tart egy vízszintes egyeneshez, amely azt a feszültséget reprezentálja, amelynél a próbatest gyakorlatilag végtelen igénybevételi szám esetében sem tört el. Ez a töréspont, amely acéloknál $2 - 3 \times 10^6$ igénybevételi számnál jelentkezik a kifáradási határ nevet kapta, mivel ehhez a terhelésváltozási számhoz tartozó feszültséget az anyag végtelen terhelésváltozás esetén is el tudja viselni



2.34. ábra: Wöhler görbe és szakaszai [1]

A kifáradási határt több, az alkatrészre nézve külső, illetve belső tényező is befolyásolja. Ezek közül a legfontosabbak a következők: a feszültségi állapot, a feszültséggyűjtő helyek, a feszültség időbeli lefolyása, az igénybevétel frekvenciája, a környezeti hatások, az alkatrész mérete, alakja (geometriai kialakítás).

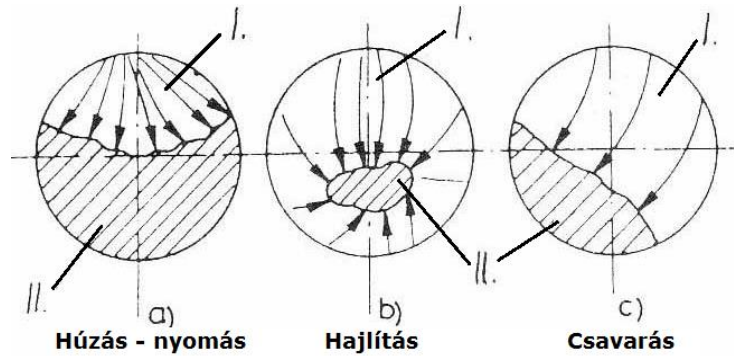
A kifáradás folyamata

A statikusan folyáshatárra, vagy szakító szilárdságra megfelelően méretezett alkatrészek is eltérhetnek, ha azokat ismétlődő igénybevétel terheli. Ez azért következik be, mert a folyáshatár alatti átlagfeszültségek esetén is lehetnek az anyagban olyan helyek, ahol a helyi feszültség meghaladja a folyáshatárt, vagy a rugalmassági határt, tehát az anyag ismétlődő képlékeny alakváltozást szenved.

Az ismételt igénybevételek során mikro-repedések keletkeznek, melyek egy ideig szívósan terjednek, míg végül az egész keresztmetszet ridegen el nem törik. A fáradt törés folyamata tehát három szakaszra bontható: 1. a mikro-repedések keletkezése, 2. a repedések szívós terjedése, 3. a rideg törés.

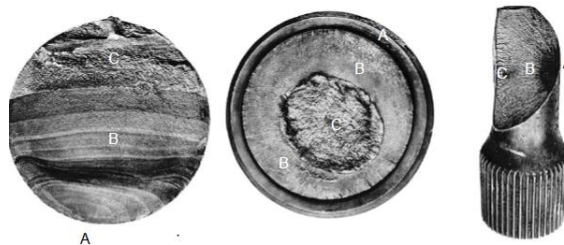
A kifáradási törések jellegzetességei

A kifáradásos töréseket más nem kifáradás okozta tönkremeneteltől az ún. törési kép alapján tudjuk megkülönböztetni. A kifáradásos törés általában a felületen kezdődik igen vékony hajszálrepedések formájában. A repedés forrása lehet valamilyen anyagszerkezeti vagy alkatrész geometriai feszültséggyűjtő hely (hegesztési varrat, reteszhorony, tengelyváll, átmenő furat stb.), amelyből kiindulva a törés folyamatosan, vagy lépésről lépésre terjed az alkatrész keresztmetszetében.



2.35. ábra: Jellegzetes kifáradásos törési felületek [1]

A kifáradási törés külalakját azok a külső hatások szabják meg, amelynek hatására létrejött. A lépésről lépésre terjedő törések a törési felületen finom vonalkák, finomszemcsés, bársonyos felület alakjában jelennek meg (I), míg a durvaszemcsés szétdarabolt részek (II) mindig erőszakos törési helyekre mutatják. A törési képből (maradék törési felület elhelyezkedéséből) az igénybevétel módjára, a tönkremenetel okára is következtetni lehet a 2.35, 2.36 ábrán láthatók. A 2.37 ábrán láthatók a fogaskerekek tönkremenetele kifáradás miatt.



A: repedés kezdete B: repedés tovább terjedése C: törés

2.36. ábra: A fáradt törés folyamata [1]



2.37. ábra: Fogaskerék tönkremenetele kifáradás miatt [1]

3 A GÉPJAVÍTÁSI TECHNOLÓGIA KIVÁLASZTÁSÁNAK SZEMPONTJAI

A javításitechnológia kiválasztásakor a következő tényezőket és körülményeket kell figyelembe venni:

- az új (eredeti) alkatrész anyagát, üzemi igénybevételét,
- működési követelményét,
- a hibák jellegét és elhasználódásának mértékét,
- a kívánt méret és alakpontosságot (tűrés, makro- és mikrogeometria),
- a szükséges felületi hordképességet (hőállóság, kopásállóság, korrózióállóság stb.),
- üzembiztonságot, élettartamot.

A gépjavítás során általában a gépgyártás-technológiai eljárásokat célra orientáltan alkalmazzuk a hibás alkatrészek felújítására. A felújítási technológia meghatározásakor figyelembe kell venni a gyártás műveleti sorrendjét, a technológiai bázisfelületeket, a befogási módokat, az alkalmazott hőkezeléseket stb. Ezek alapján mondhatjuk, hogy a gépjavítás alkalmazott gépgyártás-technológia. Ha az alkatrészgyártást összehasonlítjuk az alkatrész-felújítással, és mindkét tevékenységet műveleteire bontva vizsgáljuk, megállapítható, hogy kapcsolatukra három eset lehetséges:

- a javítástechnológia a gyártástechnológiával azonos (pl. motor nagy javításakor a túlméretes dugattyút úgy készítjük, mint gyártáskor),
- a javítástechnológia a gyártás befejező műveleteiből áll (pl. a kopott motorhengert finomfűrjük és hőoljuk),

a javítástechnológia fémfeltöltésből és a gyártás befejező műveleteiből tevődik össze (pl. kopott tengelycsapot felöltő hegesztés után méretre munkálunk).

Az első esetben nincs különbség a javítás és a gyártás technológiája között, tehát a javítás során egyes alkatrészeket le kell gyártani. A második esetben a kopott alkatrészt alakhelyesre munkáljuk, eredeti névleges méretét javítóméretre módosítjuk. A javítóméret tengelytípusú alkatrészeken (külső méreteken) névleges méretnél kisebb, furatokon (belső méreteknél) nagyobb. A javítóméret tűrése azonos az eredeti méret tűréseivel. Javítóméretre felújított alkatrészekhez a csatlakozó alkatrészt az eredeti állapotnak megfelelően illesztjük. Ebben az esetben helyreállítjuk a kopott alkatrész geometriai alakját és illesztését, de megszüntetjük csereszabatoságát. Kivételt képeznek azok az alkatrészek, melyekre a gyár szabványos javítási méretlépcsőket határoz meg, és ezekhez, csatlakozó alkatrészeket is gyárt. A csereszabatoság tehát csak akkor szüntethető meg, ha üzemeltetés során nem zavarja az alkatrészcsere javítást. Legtöbbször a harmadik eset fordul elő a gyakorlatban, amikor a kopott alkatrészt eredeti méretre, csereszabatosra kell felújítani. Ehhez azonban az szükséges, hogy az alkatrészről használat közben lekopott fémét valamilyen technológiai eljárással visszavigyük a kopott felületre. Ezután az alkatrészt gyári tűrés szerint, eredeti méretre munkálhatjuk. Az

alkatrész-felújításának ez a része – a megfelelő minőségű és kötési szilárdságú fémfeltöltés – a legnehezebb, és jórésben ettől függ a felújított alkatrész minősége és gazdaságossága.

Általános érvényű tapasztalat, hogy minden alkatrész-felújítási feladatot többféle módszerrel lehet megoldani. A legkedvezőbb javítástechnológiát alapos műszaki és gazdaságossági mérlegelés után kell meghatározni.

A gépjavítási technológia meghatározásakor elsődleges műszaki törekvés, hogy a felújított alkatrész minősége, élettartama elérje, vagy legalább közelítse meg az új állapot minőségét, élettartamát.

Ha a felújítás csak az illeszkedés helyreállítása miatt fontos, lehetőleg olyan technológiai módszereket alkalmazzunk, amelyek az alkatrész feszültségállapotát, szövetszerkezetét nem befolyásolják kedvezőtlenül. Ha a hordképesség helyreállítása is követelmény, nehezebb a feladatunk. A felújított alkatrész hordképességét két tényező befolyásolja nagymértékben:

- a felvitt fém réteg minősége,
- a felvitt fémréteg és az alapanyag kötési módja.

A feltöltött fémréteg szilárdsága legalább azonos legyen az alapanyaggal. Ha követelmény és lehetséges, annál keményebb kopás- és korrózióállóbb fémet vigyünk fel a kopott felületre. A feltöltött fémréteg és az alapanyag kötési szilárdsága pedig az üzemi terhelést leválás, kitöredezés nélkül biztonsággal elviselje. A feltöltött fémréteg és az alapanyag között négyféle kötési mód lehetséges, a feltöltés technológiájától, valamint az egyesítendő fémek tulajdonságaitól függően:

- kohéziós kötés,
- diffúziós kötés,
- adhéziós kötés,
- mechanikai kötés.

Kohéziós kötéseknek nevezzük azonos fémeknek olyan kapcsolatát, amelyben a korábban két külön darabot alkotó rész atomjai vagy molekulái az egybekötés során közösen alakítanak ki atomrácsot. Diffúziós kötésen értjük két különböző anyagi összetételű fémek olyan egybekötését, amelynél a két fém részei kölcsönösen behatolnak egymás kristályszerkezetébe, és ennek során kötés mentén egy új fémötvözet keletkezik. Ennek az új ötvözetnek, a rétegvastagsága függ az összekötés technológiájától és az egyesített fémek jellemzőitől. Adhéziós kötés a fémek, illetve egyéb anyagok olyan kapcsolata, amely során az egyik anyag felületéhez jelentős mértékben hozzáidomul a másik, annak felületi egyenetlenségeit többé-kevésbé kitöltve. Az érintkezés mentén új ötvözet vagy a két fém anyagából felépült atomrács nem keletkezik. Mechanikai kötésnek nevezzük két különböző munkadarab olyan egyesítését, amelyben az érintkező felületek alak kiképzése létesíti a szilárd kapcsolatot. Az ilyen munkadarabok egymásba kapcsolódnak, egymásba horgonyzódnak, vagy szoros illeszkedés esetén az ébredő súrlódó erő hatására kötődnek egymáshoz. A felújított alkatrész szilárdságát,

hordóképességét, a feltöltő fémréteg minőségén és a kötési módján kívül befolyásolja az a hőmérséklet, amely feltöltés közben az alkatrész teljes tömegét éri. Acélok esetében 210°C az a hőmérséklethatár, amely alatt a szövetszerkezet nem változik meg számottevően. Ha a hőmérséklet 210°C fölé emelkedik, a szövetszerkezeti változással – szilárdságsökkenéssel – számolnunk kell. Ekkor szükségessé válhat az utólagos hőkezelés, amely a felújítás költségeit tetemesen növeli.

A gazdaságosság követelménye megszabja, hogy a felújítás költsége (munkabér, rezsi, anyagáfordítás) az alkatrész gyártási költségeinél lényegesen kisebb legyen. A felújítás gazdaságosságának nincs egységesen elfogadott határa, értékarányos ár esetén általában az új ár 50-70%-áig növekedhet a felújítási költség. Ez a követelmény dönti el, hogy adott alkatrészt érdemes-e felújítani, vagy helyesebb-e megfelelő mennyiségű új pótalkatrészt gyártani. A felújítás gazdaságossága tehát úgy határozható meg, hogy a felújítás költségét az új alkatrész költségéhez hasonlítjuk. Az elmondottakat részegységre és fődarabokra is kiterjesztjük. A gépalkatrész gyártására vonatkozó gazdasági törvényszerűségek értelemszerűen a gépjavításra is érvényesek. Adott alkatrészt, részegységeket vagy fődarabokat sorozatban, jól felszerszámozva gazdaságosabban újíthatunk fel, mint kis darabszámban.

3.1 A gépek fődarabjainak és alkatrészeinek tisztítása

A szakszerű gépjavítás technológiai folyamatának fontos részfeladata a tisztítás [1, 2]. A szennyeződések eltérő fizikai és kémiai jellemzői miatt univerzális, mindenfajta szennyeződés eltávolítására egyaránt megfelelő alkatrész-tisztítási eljárás nem létezik. Az alkalmazandó eljárást, - amellyel biztosítható az alkatrészek károsodásmentes tisztítása - az alábbi szempontok figyelembevételével kell kiválasztani:

- a szennyezettség mértéke és a szennyeződések jellemzői,
- a tisztítandó alkatrész anyaga, tömege, mérete és felülete,
- a mosófolyadék (tisztítószer) tulajdonságai,
- a tisztítást követő javítási eljárás technológiai előírásai,
- a rendelkezésre álló tisztítási technológia.

Szükség van szétszerelés előtt külső tisztításra és szétszerelés utáni alkatrészmosásra. A tisztára mosott gépet, illetve fődarabot rövidebb idő alatt lehet szétszerelni, a gyors és pontos hiba megállapításnak is előfeltétele a tiszta alkatrész. A tisztaság kihat a berendezés kopására, a felújítási technológiákra és az összeszerelés minőségére, ezen keresztül a felújított gép élettartamára.

Gépalkatrészekre sokféle szennyező anyag tapadhat a környezetből, a munkaközegből és az üzemanyagokból. A szennyeződések fizikai, kémiai tulajdonságai eltérnek egymástól, ezért, eltávolításukhoz is többféle mosófolyadék és technológia szükséges. A szennyeződések a különböző hatóanyaggal szembeni viselkedésük alapján is osztályozhatjuk:

- vízben oldhatatlan szennyeződések

- vízben és savakban nem oldható szennyeződések
- vízbe oldható szennyeződések
- egyéb szennyeződések

A vízben oldhatatlan szennyeződések a felülethez kötődhetnek erősebb kémiai eredetű erőkkel és kapcsolódhatnak viszonylag gyengébb adszorpciós (van der Waals féle) erőkkel. A vízben oldhatatlan szennyeződések másik csoportja kémiai erőkkel tapad a felületre. Ilyenek a fémek és fémötvözetek kémiai és elektrokémiai roncsolódásaként képződő korróziós termékek. Vízben és savakban nem oldható szennyeződések ide tartoznak a kenőolaj és kenőzsír alapú szennyeződések, amelyek a motorok leggyakoribb szennyeződései. Tisztítás szempontjából is lényeges tulajdonságuk a viszkozitás, ugyanis pl. kenőolajnál a kenőfilm teherbíró képességén túl ettől függ tapadó képességük is. Vízben oldható szennyeződések, ide tartoznak a lúgos anyagok és oldataik, a zsírtalanítás után visszamaradt, vízben oldható felületaktív anyagok és vassók, valamint a foszfátok. Ezek a szennyeződések az alkatrész vízzel, való lemosásával távolíthatók el. Az egyéb gyakori speciális szennyeződések, a régi tönkrement, hámló festékrétegek, koromszennyeződések, vízkőképződések is.

A tisztítási technológiák célja a folyékony, a gáz és a szilárd szennyező anyagok eltávolítása a felületről, egy megkívánt tisztasági fokozat eléréséig.

Így általában a tiszta felület fogalmán azt az állapotot kell érteni, amely adott technológia sikeres elvégzéséhez szükséges. Gépjavítás szempontjából három tisztasági fokozatot különböztetünk meg:

- durva tisztítást,
- finom tisztítást és
- aktivációs tisztítást.

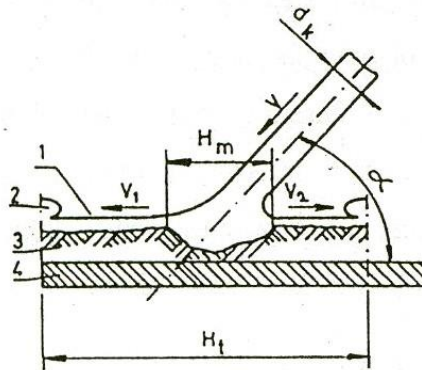
A durva tisztítás megfelel szereléshez, forgácsoláshoz. Finom tisztítással eltávolítjuk a durva tisztításból visszamaradt szennyeződések, ilyen tisztítás szükséges hegesztéshez, forrasztáshoz, fémcsúráshoz, termikus szúráshoz, festéshez stb. Finom tisztítás után is visszamaradnak a felületaktív anyagok maradványai, monomolekuláris oxidhártyák és ezekkel bezárt más szennyeződések. Ezeket aktivációs tisztítással lehet eltávolítani. Ilyen felület szükséges galvanikus fémfeltöltéshez, kémiai nikkelezéshez.

A szennyeződések különböző természetének megfelelően eltávolításuk módját három fő csoportba sorolhatjuk:

- mosás vízzel, amellyel a szennyeződések egy részét – port, sarat és egyéb vízben oldódó anyagokat – távolítjuk el,
- zsírtalanítás, amellyel az alkatrészeket az ásványi, növényi és állati zsíradékoktól tisztítjuk meg,
- oxidmentesítés, amellyel az alapfémből származó oxid, reve és laza fémkristálytöredékből álló szennyeződések távolítjuk el.

3.2 Mosás vízzel

Szét szerelés előtt a gépet hideg vagy meleg vízzel, illetve gőzzel tisztítjuk. Ezzel a módszerrel a gépre kívülről tapadó szennyeződések távolíthatók el. A leggyakoribb oldószer a víz, mivel a határfelületen levő vízmolekulák a folyadék belseje felé tartanak, a minimális felület elérése céljából, mert a folyadékmolekulák közötti vonzóerő nagyobb, mint a folyadék és gőzfázis molekulái között.



3.1. ábra: A vízgőzsugár mechanikai tisztítóhatása [1]

A nagy nyomású víz- vagy gőzsugár bizonyos fokú mechanikus tisztítást is végez, így nemcsak a vízben oldódó szennyeződések távolítja el, hanem az oldhatatlan anyagok egy részét is. A vízgőzsugár becsapódását és mechanikai tisztítóhatását a 3.1. ábra szemlélteti. Becsapódáskor a sugár ütéssel gyakorol a felületre (4), ennek hatására a szennyeződés (3) deformálódik. A merőleges feszültségek hatásterülete (H_m) a becsapódás szögétől (α) függ. A sugár innen nagy sebességgel szétfolyik (1), ami tangenciális feszültségeket ébreszt, ezzel széttroncsolja és elmosza a szennyeződések. A becsapódás szögétől, sebességétől és szétfolyási sebességétől (v_1 , v_2) függ a tangenciális feszültségek hatásterülete (H_t), amit körben a folyadék torlódásából keletkezett gyűrű (2) határol. Ezt nagy sebességű áramlás zónájának nevezzük, ami a tisztítóhatás szempontjából jelentős. A mosófolyadék hőmérsékletének növelésével romlanak a szennyeződés szilárdsági jellemzői és ez hatásosabb tisztítást eredményez. A mosószer adagolásával a mosósugárban csökken a felületi feszültség, ennek eredményeként csökken a szennyeződés és a felület közötti adhézió. A hidraulikus sugárnak a kifolyócsőnél mért nyomása alapján megkülönböztetünk kisnyomású (max. 10 bar), közepes nyomású (10-50 bar) és nagy nyomású (50-500 bar) feletti mosóberendezéseket.

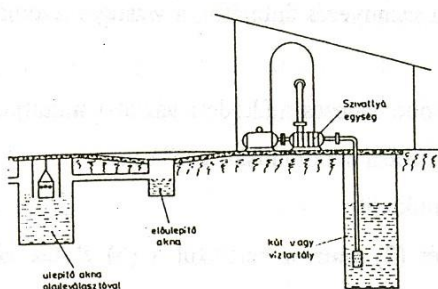
A mechanikai tisztítóhatást a sugárnak a szennyezett felületre kifejtett hidrodinamikai nyomása (az ütés ereje) és a folyadékáram elmosó hatása határozza meg. Minél nagyobb a nyomás, annál inkább deformálódik a szennyeződés, annál eredményesebb a tisztítás. A tisztítandó felület és a szennyeződés jellemzőm kívül nemcsak a mosóvíz nyomásától, hanem annak hőmérsékletétől, a vízhez adagolt vegyszerektől és a víz sugár alakjától is függ az, hogy mennyire tisztítható meg a felület.

A nagy nyomású mobil mosóberendezések lehetnek:

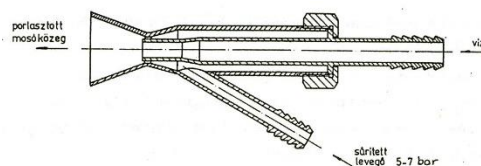
- egyszerűbb szerkezeti felépítésű hideg vízszugárral és a
- hőfejlesztő egység miatt bonyolultabb szerkezeti felépítésű meleg (60 - 80° C)
- vízszugárral
- vagy gőzzel - vízzel tisztító berendezések.

3.2.1 Mosás közepes nyomású melegvízzel

A közepes nyomású hidegvizes mosásnak tekintjük a 10-50 bar nyomású rendszerrel végzett mosást. A mosás céljára telepített hidegvizes mosóberendezést használnak. A berendezés leglényegesebb egysége az említett nyomást létrehozó szivattyúegység, mely lehet dugattyús-szivattyú vagy többlépcsős centrifugál-szivattyú, amit a lüktetésmentes vízszállítás biztosítása céljából rendszerint hidrofor tartállyal építik egybe. A mosóhelyiség padozata betonból készül, mely középre lejtősen van kiképezve, s padlóösszefolyóba gyűjti a szennyvizet, valamint a leválasztott szennyezőanyagot. Tekintve, hogy a szennyező anyagok tartalmazhatnak olyan szennyeződések is, melyeket nem engedhetünk közvetlenül a csatornahálózatban, ezért az elfolyó szennyvíz szűréséről, tisztításáról, esetleg közömbösítéséről gondoskodnunk kell (3.2. ábra).



3.2. ábra: Mosótelep olajleválasztó aknával [1]



3.3. ábra: Sűrített levegővel kombinált mosópisztoly [1]

Ezen berendezések hátránya az igen nagy vízfogyasztás, hisz a hatékony mosás feltétele az 50-100 l/perc teljesítményű szivattyúegység. Ahol nem áll rendelkezésünkre megfelelő vízmennyiség, kisebb teljesítményű szivattyúegységgel is kielégítő mosási teljesítményt tudunk elérni víz és sűrített levegő együttes használatával. Általában sűrített levegővel kombinált nagynyomású mosópisztolyt közvetlenül a vízvezeték-hálózatra is csatlakoztathatjuk, amennyiben legalább 1"-os hálózati vezeték áll rendelkezésünkre. Sűrített levegővel kombinált nagynyomású mosópisztolyt mutat a 3.3. ábra.

3.2.2 Mosás nagynyomású hidegvizes berendezéssel

A berendezés telepítési feltételi azonosak a közepes nyomású hidegvizes mosással. A magasabb nyomású, de kisebb tömegű vízmennyiséggel adott esetben ugyanazt a tisztító hatást el lehet érni, mint egy kisebb nyomású, de nagyobb mennyiségű vízzel. Tehát a

víznyomás fokozásával vízmennyiséget tudunk megtakarítani. A gyakorlatban alkalmazott nagynyomású hidegvizes mosóberendezések 40-60 bar nyomással dolgoznak. Ilyen nyomást csak dugattyús vagy membránszivattyúval lehet elérni. A szállított víz mennyisége 20-80 liter/perc.

3.2.3 Mosás nagynyomású forróvizes mosóberendezéssel

Az olajjal vagy zsírral átitatott szervesetlen szennyeződések a fődarabok felületén olajsár formájában megtapadnak. A hidegvizes mosás hátránya, hogy az így megtapadt szennyeződések nem tudjuk megfelelően eltávolítani. A tisztító hatást forró víz és zsíroltó vegyszer alkalmazásával fokozni tudjuk. A tisztítás hatásfoka függ a tisztítandó felület jellegétől, a szennyezés fajtájától, a vízszugár nyomásától, a folyadék mennyiségétől és hőmérsékletétől.

3.2.4 Gőzsugaras tisztítás

A durva zsírtalanító eljárások közé soroljuk. A mobil gőzsugártisztító berendezés alkalmazásának előnye, hogy segítségével nagyméretű vázszerkezetek, rácsos gémszerkezetek, egyéb tagolt felületek a munkadarab mozgatása nélkül letisztíthatók, legfeljebb azokat tisztítás közben meg kell fordítani. Előnye továbbá, hogy könnyen üzembe helyezhető s az indítást követően néhány percen belül a kívánt és előre beállított paraméterű mosóközeget szolgáltatja. A tisztítóhatást a mosóközeg hőmérséklete, mennyisége, a kinetikus (mozgási) energia és a szennyeződésekkel szembeni oldóképesség határozza meg, így a felületek megtisztíthatók a portól, a sártól, a besűrűsödött zsírtól, olajtól, valamint ezek bomlástermékeiktől a mérgező vegyszerektől. A túl magas hőmérsékletű közeg alkalmazásánál a fűvókából kilépve a gőz expandál, s hőtartalmának egy részét átadja a tisztítandó tárgynak. A közölt hőmennyiség túlzottan felmelegíti a darabot, felületéről a nedvesség elpárolog, s ez akadályozza a szennyeződés fellazulását.

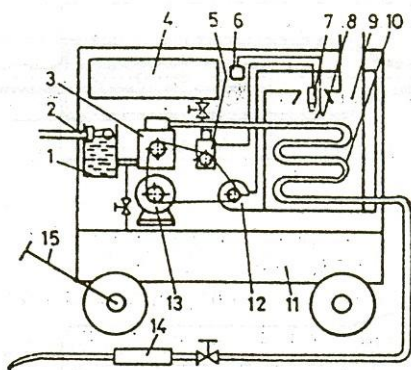
A magas hőmérsékletű gőznek ugyanakkor kisebb a kinetikai energiája, mivel az expanzió után is csak finomeloszlású kistömegű vízcseppek keletkeznek. A kinetikai (mozgási) energia nagyságát a felületre ütköző vízcseppek tömege és sebessége határozza meg. A fűvókák kialakításával a maximális áramlási sebesség elérésére törekszünk. A vízcseppek tömegének és mennyiségének növelése adott nyomáson viszont az áramlási sebesség csökkenését eredményezi. Minden gőzmosó-berendezésnek megvan az optimális gőzparaméter adatai, melyekkel a leghatásosabb tisztítást lehet elérni. A gőzt és a forró vizet a tisztítóberendezés villamos árammal vagy folyékony tüzelőanyaggal (olaj) fűtött rekuperátorában állítják elő. A legelterjedtebbek a folyékony tüzelőanyaggal működő kis és közepes vízfogyasztású és nyomású berendezések.

A gőzsugaras tisztítóhoz az alábbi biztonsági berendezések tartoznak:

- túlhevülés elleni biztosítás, mely vízhiány esetén az égést megszünteti,
- túlnyomás elleni biztosítás a víz és a gőzrendszerben egyidejűleg fellépő túlnyomás esetén leállítja a szivattyú meghajtómotort és ezáltal leáll a berendezés,

- gőzhőmérséklet lehatárolására szolgáló kontakt hőmérő, mely egy beállított érték alapján meghatározott hőmérsékletű tartományban a berendezést ki és bekapcsolja, az égést tápláló olajcső vezetékben beépített mágnesszelep segítségével,
- a rendszer maximális gőznyomását gőzbiztonsági szeleppel lehet beállítani.

A 3.4 ábra gőzsugaras berendezés elvi vázlatát mutatja. A vizet úszóval működtetett szelep (1) hálózati vezetékről (2) adagolja a villamos motorral hajtott szivattyúba (3). A szivattyúból a víz hőkicserélő csőkégyőjébe (10) jut, ahol felmelegszik, és vízgőzkeverék formájában a sugárcsőbe (14) áramlik. A tüzelőanyagot külön szivattyú nyomja az égőtérbe (7). A tökéletes égéshez szükséges levegőt ventilátor (5) nyomja az égőtérbe (7). A tökéletes égéshez szükséges levegőt ventilátor (12) szállítja az égéstérbe. A begyűjtést nagyfeszültségű transzformátor (6) és gyűjtőgyertya (8) végzi. A hőkicserélőben (9) a víz 130-160°C hőmérsékletre melegszik fel. A pisztolyból azonban csak 95-100°C-on körülbelül 10% gőztartalommal lép ki. A tartályból (4) csapon keresztül tömény mosószer adagolható a vízbe.



3.4. ábra: Gőzsugaras tisztítóberendezés [1]

A gőzsugártisztító berendezések általában az alábbi üzemmódokban használhatók változtatható nyomás mellett: hidegvíz-üzem vegyszeres, hidegvíz-üzem melegvíz-üzem, vegyszeres melegvíz-üzem gőzüzem és vegyszeres gőzüzem. A zárt térben vagy szabadban kialakított mosóállás beton padozatát úgy kell lejtőre kialakítani, hogy az a szennyezett mosófolyadékot egy helyre, az ülepítő aknába vezesse. Az ülepítő aknát ki kell egészíteni zsír- és benzinfogó műtárggyal.

3.3 Zsírtalanító eljárások

3.3.1 Lúgos mosás, emulziós mosás

A durva zsírtalanításhoz soroljuk, ezeket a mosószereket. Mosófolyadékként alkalikus anyagok 80-90°C hőmérsékletre melegített különböző koncentrációjú vizes oldatait használhatók. Az alkotórészeket lúgos mosáskor bemártással tisztítjuk vagy elterjedtebb és hatékonyabb, amikor egy mosócellán vezetjük keresztül miközben a cella négy

oldaláról 2-8 bar nyomású folyadéksugárral tisztára mossuk. A különböző természetű szennyeződések ezen eljárásnál az alábbiak szerint távolíthatjuk el:

- Az ásványi eredetű olajokat és zsírokat szétoszlatjuk (emulgeáljuk) a forró vizes közegben.
- Az esetleges növényi eredetű zsírokat elszappanosítjuk és a bennük levő szabad zsírsavakat közömbösítjük.
- A felületre tapadó vagy a zsiradék által bezárt (szilárd) szennyeződésekét pépesítjük, illetve finom szemcsékké szétoszlatjuk a vizes közegben.
- Az alkálikus mosófolyadéknak a következő vegyi és fizikai feltételeket kell kielégítenünk:
 - a folyadék pH-ja és pufferolóképessége (kiegyenlítő) optimális határok között maradjon,
 - a mosófolyadék – mosás után – könnyen leöblíthető legyen,
 - a folyadék ne korrodálja a tisztítandó alkotórészeket,
 - megfelelő szappanosító képességű legyen,
 - jó nedvesítő tulajdonsága legyen, illetve kicsi legyen a mosófolyadék felületi feszültsége.

A tisztítandó hatást meghatározó tényezők közül a lúgosság a legfontosabb. A lúgosság az oldatok olyan képessége, amely révén semlegesítik a savas szennyeződésekét, elszappanosítják a zsírokat, csökkentik az oldatok érintkezési feszültségét és a víz keménységét.

A lúgosság mérőszáma a pH-érték, amely egyenlő a hidrogénion-koncentráció negatív tizesalapú logaritmusával. A hidrogénion-koncentráció jellemzi az oldat aktivitását és mosóképességének is kritériuma. A pH-értéke a legtöbb vegyületben nő a koncentráció növelésével, egyes vegyületekben azonban a pH-érték kismértékben nő vagy csökken a koncentráció növelésével. A fémfelületek tisztításakor az oldatok meghatározott pH-értékek között kell tartani a korrózió elkerülésére. Az oldatok megengedhető pH-értéke alumínium és cink tisztításakor 9-10, ón tisztításakor legfeljebb 11, sárgaréz tisztításakor 12-12,5 míg acél tisztításakor legfeljebb 14.

A fürdő pH-értékének megválasztását a felület szennyezettségének mértéke is befolyásolja. Azokat az alkotórészeket, amelyek aszfaltos-kátrányos lerakódásokkal szennyezettek, 11,8-13,6 pH értékű oldattal kell tisztítani. Kevésbé tapadó olajos-zsíros szennyeződések eltávolításához 10-11,5pH értékű oldat is megfelelő. Fontos, hogy a pH érték a tisztítás folyamán optimális legyen.

A lúgos mosás céljára alkalmazott oldószerek többféle zsíroltó vegyület keverékből állnak: lúgkő (NaOH) igen erős az alumíniumot támadja; trisó; szóda; szilikátok (vízüveg) és nedvesítőszerke.

Az emulziós mosás durva zsírtalanításhoz jól alkalmazható. Külföldön már elterjedten használt az emulzió, amelynek több változata ismeretes. Leginkább a kétfázisos eljárás

terjedt el. Lényege, hogy szerves oldószereket vízzel és emulgeálószerrel emulgeálunk, és ezt az emulziót meleg állapotban 20-60°C-on használjuk a mosásra. Az emulzió koncentrációja szükség szerint változtatható. Az alkatrészek tisztítása történhet bemártással és egyidejű mozgatással vagy fecskendezéssel.

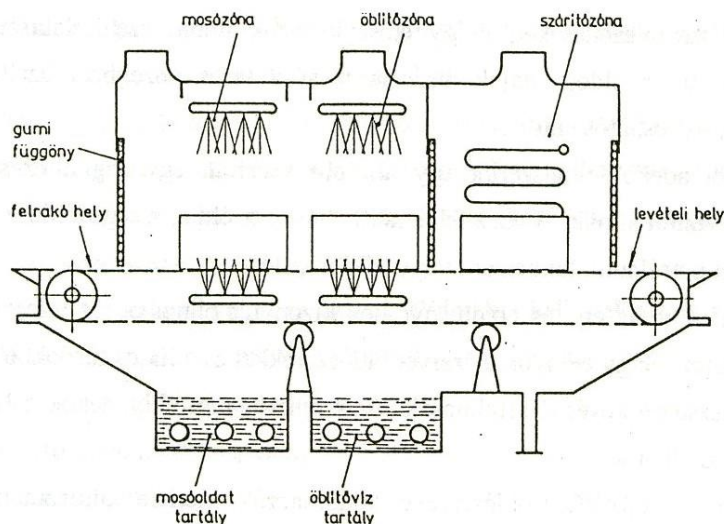
Az eljárás előnye, hogy a tisztítandó fém egyidejűleg érintkezik az oldószerral, vízzel és a kettő emulziójával. Mivel az oldószer a vízzel csak részben képez emulziót, az oldószer oldja az alkatrészekben lévő zsíros szennyeződések, és nedvesíti a felületet. A forró víz oldja a vízben oldódó anyagokat és nedvesíti a különböző szilárdságú ásványi szennyeződések, s így elősegíti azok finom szétosztatását a mosófolyadékban. Az emulzió pedig elősegíti az oldott olajok diszpergálását a vizes közegben, ezáltal megkönnyíti az olajos szennyeződések vizes lemoshatóságát.

A mosófolyadék hőmérsékletét 80-90°C között kell tartani. Az alkatrészek szennyezettségétől függően az oldat koncentrációja 1-3%.

A mosás időtartama függ a szennyeződés minőségétől, a tárgyra tapadt szennyeződés vastagságától. A túlságosan szennyezett tárgyakat célszerű kétfokozatú mosással tisztítani, ahol előmosással a szennyeződések durva részét távolítjuk el, a második mosásnál viszont már kielégítő felületi tisztaságot kapunk. Kimerült mosószertoldatot kizárólag ülepítő-aknába szabad vezetni, ahol részben a szilárd szennyeződés leülepedik, részben pedig a folyadék felszínén lévő olajréteget el tudjuk távolítani mielőtt a kimerült folyadékot a közmű-csatornába vezetnünk. A folyadék lúgossági értékét kénsavval 8 pH értékre be kell állítani, szükség esetén vízzel hígítva vezethető be a csatornába.

Lúgos mosás és az emulziós mosás céljára alkalmazhatunk 1, 2 és 3 zónás mosógépet. Működés szempontjából ezek a mosógépek lehetnek folyamatos vagy szakaszos üzemeltetésűek. Szakaszos üzemeltetésű mosógépek rendszerint mosókocsival vannak ellátva, melyekben a mosásra kerülő alkotórészeket szakaszosan rakják be, illetve a lemosott alkotórészeket szedik ki. A folyamatos üzemű mosógépek termelékenységé magasabb, mivel a gép egyik oldalán a tisztításra váró alkotórészeket a láncrostélyra folyamatosan rakják fel, a másik oldalon pedig a megtisztított alkotórészeket szedik le. A szakaszos üzemű mosógépek általában egyzónásak, míg a folyamatos üzeműek lehetnek egy vagy több zónásak is (3.5 ábra)

Az első zónában az alkotórészek lúgos mosása megtörténik, s az olyan oldószerek alkalmazása esetén, melyek nem hagynak káros vegyszernyomatokat a fémfelületeken, további kezelés nem szükséges. Amennyiben követelmény, hogy tiszta oldószertmentes felületű alkatrészek kerüljenek ki a mosógépből háromzónás mosás indokolt. Ez esetben a második zónában megtörténik a munkadarabok öblítése, míg a harmadik zónában megszáritjuk az alkatrészeket.



3.5. ábra: Háromzónás folyamatos üzemű mosógép [1]

3.3.2 Szerves oldószeres mosás (finom zsírtalanítás)

A durva zsírtalanítással eltávolítjuk a szennyeződések 90%-át a többit pedig finom zsírtalanítás során. Mint azt a későbbiekben látni fogjuk néhány technológia igényli a teljesen tiszta és zsírmentes felületet ezeknél a felvitt réteg tapadását a felület tisztasága eleve meghatározza. A különböző finom zsírtalanítási eljárások egymással nem egyenértékű tisztítási fokot biztosítanak alkalmazásuknál a műszaki szempontokat és a gazdaságosságot egyaránt mérlegelni kell. Oldószerként használunk gázolajat, petróleumot, benzint, lakbenzint és klórozott szénhidrogéneket.

A szerves oldószerekkel szemben a következő követelményeket támasztjuk:

- jó oldóképességű legyen, ne legyenek tűz és robbanásveszélyesek és mérgezők,
- ne károsítsák a tisztítandó felületet,
- használat során fizikai és kémiai szempontból stabilak legyenek.

Az oldószerek legfontosabb tulajdonságai az oldóképesség, a párolgási és lobbanási hőmérséklet, valamint a megengedett gázkoncentráció a mosóhelyiségben. A szerves oldószerek – klórozott szénhidrogének kivételével – nem korrodálják a fémeket. Víz jelenlétében a klórozott szénhidrogének disszociálnak és sósav keletkezik, ezért az ilyen fürdőket óvni kell a vizes szennyeződéstől. A szerves oldószerek a polimer anyagokat felduzzasztják, ezeket más módszerrel kell zsírtalanítani. A gumi alkatrészek (pl. hidraulikus fékhengerek tömitései) szintén megduzzadnak szerves oldószerekben.

Az oldószerek belélegzése káros az emberi szervezetre, legmérgezőbb a triklór-etilén, xilol és a benzol. Jelenlegi előírás szerint a mosóhelyiségek MAK (maximális munkahelyi levegőszennyezettség) értéke 100 ppm (parts per million = 1 milliómod

térfogatrészt). Korszerű berendezések esetén, valamint gondos üzemelés mellett ez az érték 30-40 ppm MAK érték körül van.

A szerves oldószeres mosás legegyszerűbb módszere, amikor benzint, petróleumot vagy gázolajat nyitott edénybe öntünk, és az alkatrészeket ecseteléssel, bemártással tisztítjuk, majd szárazra töröljük. Ennek a módszernek a hátránya, hogy ezeknek csekély a zsíroltó képességük, nagy az anyagpazarlás, valamint tűz és robbanásveszélyes. Ezek a hátrányok elmaradnak a klórozott szénhidrogének használatakor. Ilyen oldószer a triklór-etilén, perklór-etilén. Mindkettő víztiszta, színtelen folyadék, olajokat, zsírokat, gyantákat, bitument és más vízben nem oldódó anyagokat gyorsan és korlátlan mennyiségben képesek oldani. A folyékony tri- és perklór-etilén a fémeket nem támadja meg, nem éghetők és az oldóhatás fokozása érdekében viszonylag alacsony energiaszükséglettel felmelegíthetők, majd elgőzölögtethetők.

Magas hőállóságuk következtében mindkét vegyületet veszteség nélkül lehet az oldott szennyező anyagokról ledesztillálni és tiszta formában visszanyerni. Mivel a tri- és perklór-etilén sűrűsége nehezebb a víznél, így a vizes fázisban alul helyezkednek el és a vízben csak nyomokban oldódnak. Minden klórozott szénhidrogén fény, levegő és hő hatására bomlásra hajlamos. Ennek csökkentésére az oldószerekhez meghatározott stabilizátorokat alkalmaznak, így a kritikus hőmérséklet alatt (triklór-etilén 120°C, perklór-etilén 150°C) a bomlás elkerülhető. Régebbi irodalom triklór-etilén esetében könnyűfémekkel való érintkezés esetén bomlási jelenségekről számol be. Ezért alumínium, magnézium, és ezek ötvözeteinek zsírtalanítására kizárólag perklór-etilént használtak. Az újabban kifejlesztett stabilizátorok ezt a bomlást a triklór-etilénnél megakadályozzák, ezért a perklór-etilén elsősorban gazdasági okok miatt az oldószeres zsírtalanításkor elvesztette jelentőségét.

Korszerű berendezésekre jellemző, hogy a tisztítás során az oldószer háromféle módon használódik el:

- kihordási veszteséggel,
- párolgási veszteséggel,
- desztillációs vagy üledékvesztéssel.

A kihordási veszteségek a tisztítandó alkatrészek megfelelő elhelyezésével, felfüggesztésével, illetve tisztítás közbeni mozgatással nagymértékben csökkenteni lehet. Ilyen veszteséget elsősorban a zárt üregekkel rendelkező alkatrészek tisztítása jelent, amennyiben a készülékből történő kiemelés előtt az üregek nem kerülnek gondosan kiürítésre. Az alkotórészt lassan kell kiemelni, hogy az oldószer visszacepeghessen.

Párolgási veszteség a konstrukciótól és a beadagolástól függően kisebb vagy nagyobb mennyiségben, de mindenképpen keletkezik. Az alkatrészek bemerítésekor például térfogatuknak megfelelő oldószergőz és levegőkeverék szorul ki a berendezésből, amit az elszívó-rendszer távolít el. Az oldószer - levegőkeverék sűrűsége nagyobb, mint a tiszta levegő, a kiszorított levegőtérfogat főként a berendezés felső peremén folyik kifelé. Ezen veszteség a korszerű berendezéseknél minimális, mivel az elszívóberendezés csak akkor szívja el a keveréket, ha az elérte a berendezés felső peremét.

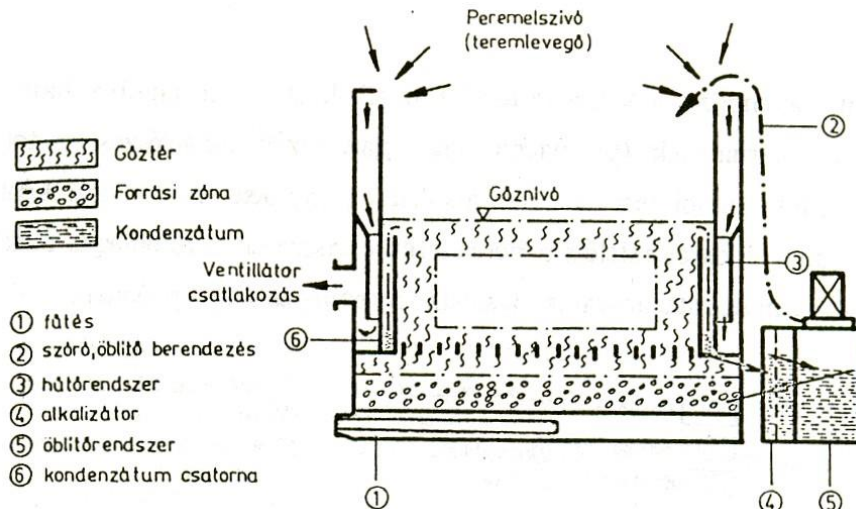
A desztillációs vagy üledékvesztés a folyadék regenerálása közben keletkezik. Az alkatrészekről leoldott szennyeződések bizonyos idő után annyira feldúsítják a mosófolyadékot, hogy az már további intenzív tisztításra nem lenne alkalmas, s ekkor a folyadékot desztillálással regenerálják. A desztillációs berendezés egybe van építve a mosóberendezéssel és rendszerint a tisztítással párhuzamosan és folyamatosan történik. A triklór-etilén 120°C-ra vagy e fölé melegítve elbomlik és sósav keletkezik, mely korróziót okoz. További veszteséget jelenthet a desztillálóberendezés kiürítése is. Az előző veszteség kiküszöbölése érdekében fűtést alkalmaznak, mellyel biztosítani lehet, hogy a folyadék hőmérséklet soha nem érheti el a 120°C fokot.

A második eseti veszteséget szintén a berendezések korszerűsítésével küszöbölték ki, illetve csökkentették minimumra. A fűtőrendszert ugyanis a folyadéktárolón kívül helyezik el, ezáltal teljesen sima belső kivitelű edény készíthető. Ilyen berendezésben a tisztítás könnyű és az oldószer maradék nélküli desztillációja lehetséges azáltal, hogy a hőátadás a kívül elhelyezett fűtőrendszertől túlnyomórészt a tartály alsó részén történik, a desztillációs maradék csupán olajat, zsírt, vizet és különféle szennyeződések tartalmaz. A tartályt rozsdamentes acélból készítik, s ez lehetővé teszi az elszennyeződött oldószer ún. azeotrop desztillációját. Ilyenkor a desztillációs folyamat megkezdése előtt az oldószer-olaj keverékhez vizet adunk. A víz és az oldószer azeotrop keveréket alkot, amelynek forráspontja az egyes komponensek forráspontja alatt van. Ezáltal elérhető, hogy a forráspont az egész desztillációs folyamat alatt távol van az oldószer bomlási hőfokától. A tisztítóberendezések rendkívül pontosan szabályozott fűtő- és hűtőrendszerrel vannak ellátva. Ennek segítségével a folyadék hőmérséklet, a gőzszint magassága nagy pontossággal beállítható. Tisztítás céljára vagy a felmelegített folyadékot, vagy szórt folyadékot és a folyadék gőzét használják fel. A berendezéseket eszerint két csoportba soroljuk:

- gőzfázisú zsírtalanító berendezések,
- folyadékfázisú zsírtalanító berendezések.

Gőzfázisú zsírtalanító berendezést ábrázol a 3.6. ábra. Lényege, hogy a tisztítandó alkatrészeket a berendezés gőzterébe helyezzük el, ahol a forró oldószer-gőzök a hideg fémfelületen kompenzálódnak, miáltal az oldható szennyeződések és a laza mechanikai részecskék eltávolíthatók. A gőzfázisú zsírtalanítás különleges előnye, hogy a tisztítandó alkatórészek mindig tiszta oldószer kondenzátummal kerülnek érintkezésbe.

A vékonyfalú alkotórészek a gőztérben gyorsan felmelegszenek, ezért a felületükön az oldószer-gőzök kondenzációja rövid idő után megszűnik. Ilyenkor a zsírtalanítást szűrőrendszerrel kombinálják. A szűrőzsírtalanítást egy alacsonyabb hőmérsékletű (30-40°C) oldószerrel végzik 5-10 bar nyomású folyadéksugárral. A tisztítás következtében az alkotórészek lehűlnek, s ezután újabb gőzszírtalanítás válik lehetővé. Erősen szennyezett alkotórészek esetében e módszer mindenképpen eredményre vezet.

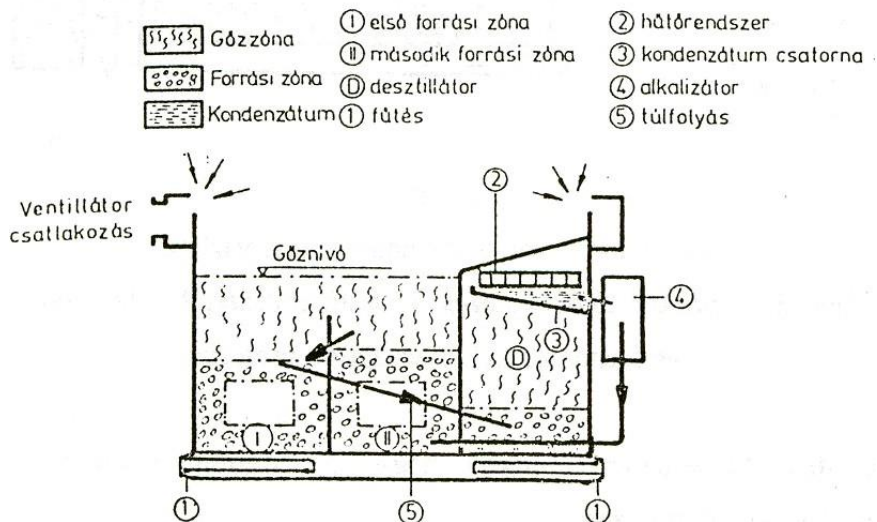


3.6. ábra: Gőzfázisú zsírtalanító berendezés elvi vázlatja [1]

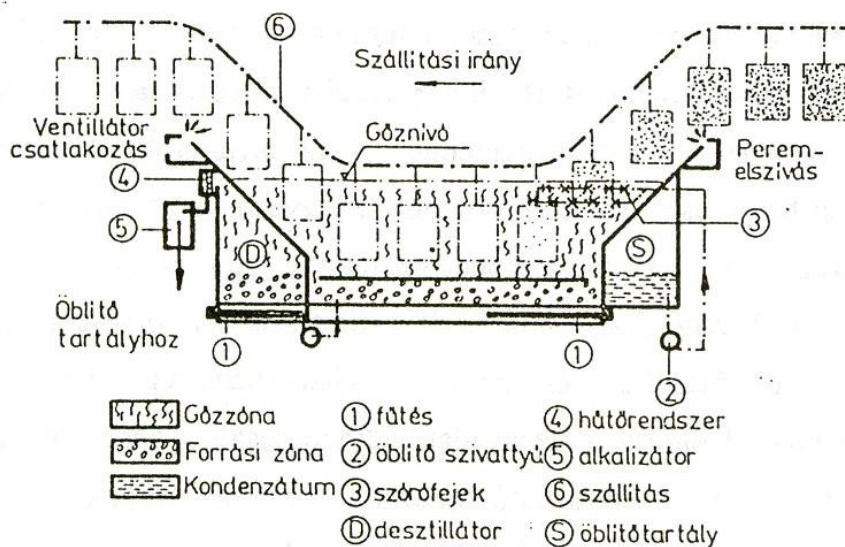
Az eljárás alapvető műszaki feltétele, hogy a tisztítandó alkotórészek az utolsó szűrőfolyamat után annyi ideig a gőztérben maradjanak, amíg az oldószergőzök hőmérsékletét elérik. Ez esetben a felületen lévő oldószer elpárolgása gyorsan bekövetkezik és a kihordási veszteség minimumra csökken.

Folyadékfázisú zsírtalanítás szükséges az olyan üreges alkotórészeknél, melyeknél a gőzfázisú zsírtalanítás nem vezetne eredményre. Az üregekben ugyanis a gőzkondenzátum összegyűlemlik, s ez meggátolja a további zsírtalanítást. A kisméretű alkotórészeket kosárban célszerű a berendezésbe behelyezni, s az alkatrészhalmaz közepén lévő alkatrészek nem tudnak érintkezni közvetlenül a kondenzátummal, így itt is a forró folyadékba történő bemerítés vezet eredményhez. A folyadékfázisú eljárásnál a tisztítást két forrásban lévő oldószer zónában végezzük, melyet beépített desztillálóval kötöttek össze. Itt tehát ellenáramú elven dolgozó tisztítóeljárás valósul meg, ahol az elszennyeződött oldószeret üzem alatt folyamatosan a desztillálóba vezetjük és a tiszta oldószer az első zónába folyik vissza. A desztilláló biztosítja, hogy az alkatrészeket tartalmazó kosár a második kamrában mindig tiszta oldószerrel kerül érintkezésbe. A tisztítás tehát az első zónában történő alkatrész elhelyezéssel kezdjük, majd néhány perc után áthelyezzük a második zónába, s végül pedig a folyadékfázis felett a gőzzónában szárítjuk.

Nagyteljesítményű berendezéseket folyamatos üzemre építenek, ahol konvektor sor szállítja keresztül a tisztítandó alkatrészeket a különböző tisztítási fázisokon. A 3.6. ábra folyadékfázissal működő, a 3.8 ábra pedig folyamatos üzemű zsírtalanító berendezést mutat.



3.7. ábra: Kétzónás folyadékfázisú zsirtalanító berendezés elvi vázlatja [1]



3.8. ábra: Átmenőpályás folyamatos üzemű zsirtalanító berendezés elvi vázlatja [1]

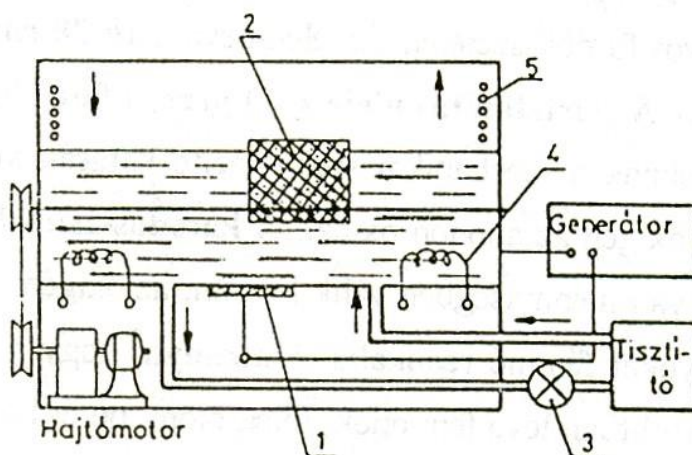
A triklór-etilén zsirtalanító berendezések fontos tartozéka az alkalizátor. Amennyiben bármilyen oknál fogva a berendezésbe savnyomok kerülnének (pl. pácolt vagy galvanizált alkatrészek esetén) az alkalizátor megakadályozza a pH érték lecsökkenését. Az alkalizátor egyben vízleválasztóként is szolgál. A hűtőlemezekon kondenzálódott oldószer mielőtt a berendezésbe visszatérne különleges tartályba kerül, mely lúgosító oldattal töltött. Itt a semlegesítés folyamán a savakból semleges sók képződnek.

3.3.3 Ultrahangos zsírtalanítás

Az ultrahangos zsírtalanítás előnyei a következőkben foglalhatók össze:

- gyors, finom zsírtalanítást tesz lehetővé,
- üreges vagy bonyolult alakú alkatrészek is jól tisztíthatók az eljárással,
- mindenféle mosószer (lúgos, emulzió vagy szerves oldószer) felhasználható erre a célra,
- a fürdő mérsékelt hőmérsékleten is jól tisztít, így energiatakarékos módszer.

A tisztítóhatást az említett fürdők ismert tulajdonságain kívül az ultrahang rezgése által keltett kavitáció jelentősen fokozza. A kavitációs buborék behatol a fémfelület és a szennyeződés közé, és pulzálásával felfeszegeti a szennyező anyagokat. A 3.9 ábra az ultrahangos mosóberendezés elvi vázlatát szemlélteti. Az ultrahang-átalakító (1) a fölötte lassan elhaladó tisztítandó alkatrészekre fejt ki hatását, miközben a felületekről leszakított szennyező részecskéket a folyadékba szuszpendálja. Az alkatrészek a kosárban (2) helyezkednek el, amely vonal menti és billegő mozgást végezve megy át a téren. A szivattyú (3) a folyadék állandó áramoltatását és szűrését látja el. A hőmérséklet megfelelő beállításáról fűtéssel (4) és hűtéssel (5) gondoskodnak. A tisztítás minőségére az ultrahang technikai feltételek mellett nagy befolyást gyakorol az előtisztítás (durva zsírtalanítás).



3.9. ábra: Ultrahangos mosóberendezés [1]

Az ultrahang hatékonysága a helyes frekvencia és teljesítmény megválasztásától függ. Az eddigi tapasztalatok azt mutatták, hogy kisebb frekvencia mellett a tisztítóhatás javul, minthogy a kavitáció létrejöttéhez kisebb frekvenciák előnyösebbek, mint a nagy frekvenciák. A kavitációnak azonban hátránya is mutatkozik a tisztítási folyamatban. Ha például a tisztítandó anyag és a sugárzó között kavitációs tér alakul ki, az ultrahangok abszorpciója miatt a buborékokban való energiaveszteségek nagyon megnövekednek, ennek következtében a tisztítására kisebb teljesítmény jut.

Finom felületeken a kavitáció káros lehet, bemaródásokat idézhet elő. Nagy frekvenciák előnye, hogy a nyalábosítás (irányíthatóság) hatásosabb és nagy gyorsulások állíthatók elő, viszont a kisebb frekvencia az alkatrészek falain áthalad és így a belső tisztítás lehetősége inkább remélhető. A gyakorlatban két frekvenciatartományt alkalmaznak: az egyik a 20-30 kHz, a másik 400-1000 kHz között. Előfordulhat, hogy a kétféle frekvenciát egymás után vagy felváltva kell használni. Az eljárás főleg apróbb alkatrészek finom zsírtalanítására alkalmazható előnyösen. Az ultrahangos tisztítás (de részben az elektrolitikus zsírtalanítás is) felfogható úgy, hogy nem egy önálló eljárás, hanem csak a lúgos, az emulziós és a szerves oldószeres fürdők tisztítóhatását fokozza. Ilyen felfogásban említésre méltó új tisztítóhatás-fokozó módszer a rezgetős, amelyet szerves oldószeres és emulziós fürdők hatékonyságának fokozására alkalmaznak. A rezgés hatására az alkatrészek felületén turbulens áramlás indul, ez jelentősen fokozza a tisztítóhatást, energiaigénye nem nagy, működése zajtalan. Mód van az alkatrészek kiemelés előtti öblítő fecskendezésére is, ami tovább fokozza a tisztítás minőségét.

3.3.4 Elektrolitikus zsírtalanítás

Az elektrolitikus zsírtalanítást [1,2] finomzsírtalanításra használjuk, galvanikus fémfeltöltős (krómozás, vasazás) előtt. Zsírtalanításkor a tisztítandó alkatrészt kapcsolhatjuk akár anódként, akár katódként, miközben másik elektródnak nikkelezett vaslemezt kapcsolunk.

A mosófolyadék lényegében azonos az alkálikus zsírtalanításkor felhasznált és megismert vegyi anyagokkal. A zsírtalanítás folyamata jelentősen meggyorsul, mivel a megismert tisztító hatásokhoz az elektrolitikus bontási folyamat is hozzájárul, melynek következtében a katódon hidrogén, az anódon oxigén keletkezik. A megfelelő elektródok felületén fejlődő gázok mechanikus hatása fellazítja és letaszítja a szennyező anyagokat a munkadarabról. A gázfejlődés fokozására nátriumcianidot adagolnak a fürdőhöz, ezzel szemben nedvesítő anyagokat is, mely az anód felületén habot képez. Ez azért szükséges, mert a keletkező hidrogén és oxigén egyesülve durranógázt alkot, amelyet ha a hab megköt, kisebb lesz a robbanás. A gázok elszívásáról gondoskodnunk kell.

A keletkező gázok mennyisége arányos az alkalmazott áramsűrűséggel (A/dm^2), de egy bizonyos határon túl a zsírtalanító hatás a túl erős gázfejlődés következtében csökken. Általában $5-10 A/dm^2$ áramsűrűség a legkedvezőbb, amely a szokványos fürdőösszetételt figyelembe véve 10-20cm anód-katód távolságnál és a 6-10V kapocsfeszültségnél áll elő. A zsírtalanítás ideje 1-3 perc, a fürdő hőmérséklete 15-18°C.

Az elektródákon keletkező gázoknak a mechanikai szennylazító hatásán kívül vegyi hatása is van. A fejlődő hidrogén a katódon redukál, az oxigén az anódon oxidál. A katódos-zsírtalanítás előnye, hogy erőteljesebb, mivel a hidrogén (H_2) kétszer olyan mennyiségben válik le, mint az oxigén. További előnye, hogy a felületen lévő kisebb fémoxid-maradványokat fémmé redukálja. Hátránya, hogy az acél elnyeli a hidrogént, ezáltal rideggé válik, ezenkívül az elektrolitban lévő fémionok, főleg ólom, ón és horgany, laza rétegben rátapadnak a munkadarabra. Az anódos zsírtalanítás előnye, hogy a tárgyon lévő idegen fémszennyeződések leoldja és a szerves szennyeződések oxidálással elroncsolja, az acélban elnyelt hidrogéngázokat pedig kiűzi. Hátránya, hogy öntöttvasra nem alkalmazható, azonkívül a finoman megmunkált és csiszolt felületeket

feltossá teszi, már egy perces kezelés is. Horgany és sárgaréz esetében sem alkalmazható, mivel ezek könnyen oldódó fémek. Figyelembe véve a kétféle kapcsolás előnyeit és hátrányait, legcélszerűbb úgy zsírtalanítani, hogy először a munkadarabot 2-2,5 percre katódként, majd pedig 10-20 másodpercre anódként kapcsoljuk. Ezután kiemeljük a darabot és leöblítjük. A furatokból, mélyen fekvő sarkokból rosszul vagy egyáltalán nem távolítja el az eljárás a szennyeződések. Ebben az esetben szerves oldószeres mosással kombináljuk. A zsírtalanító fürdők használat közben feldúsulnak szennyező anyagokkal. Szűréssel a fürdő telítődése időben eltolható. A telített fürdőt ki kell cserélni. Az elektrolitikus zsírtalanításra alkalmas fürdő összetétele:

- szóda 30g/l
- lúgkő 10g/l
- trisó 15g/l
- vízkő 10g/l
- nátriumcianid 10g/l

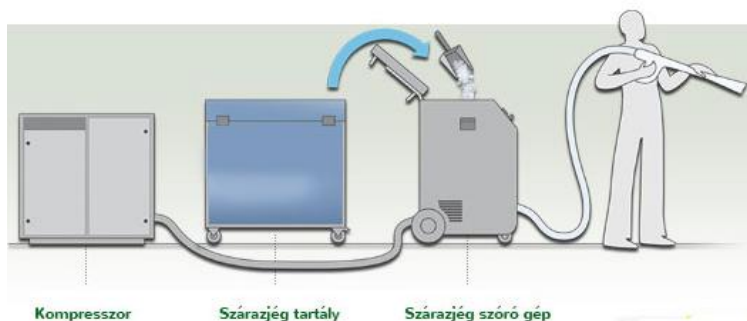
3.3.5 *A zsírtalanítás ellenőrzése*

A megtisztított alkatrészek felületi tisztaságának ellenőrzését jelenleg csak relatív módon, gyakorlati tapasztalatokra támaszkodva tudjuk végrehajtani. Durva zsírtalanítás esetén a tisztítás ellenőrzésének nem tulajdonítunk nagy jelentőséget, mivel az ily módon tisztított alkatrészek felújítási technológiájára az esetleges zsírtalanítási hibák nem gyakorolnak nagyobb befolyást. Például egy forgácsolási művelettel felújítható alkatrész esetében megelégszünk azzal, hogy a zsírtalanított alkatrész – ha tapintjuk – ne szennyezze be kezünket.

A finomzsírtalanítás ellenőrzésére jól ismert módszer a vízhártya vizsgálat. A zsírtalanított alkatrészt vízbe mártjuk és ha a lefolyó víz egyenletesen, szigetképződés nélkül borítja a felületet, akkor a zsírtalanítás kielégítő. Ha az alkatrészen a mosófolyadékból visszamaradt nedvesítőanyag maradványok találhatók, az eljárás megtévesztő eredményt ad. Ezen úgy segíthetünk, hogy a tárgyat ellenőrzése előtt 3-5%-os kénsavoldatba mártjuk, újra öblítjük és csak azután ellenőrizzük.

3.3.6 *Szárazjeges tisztítás*

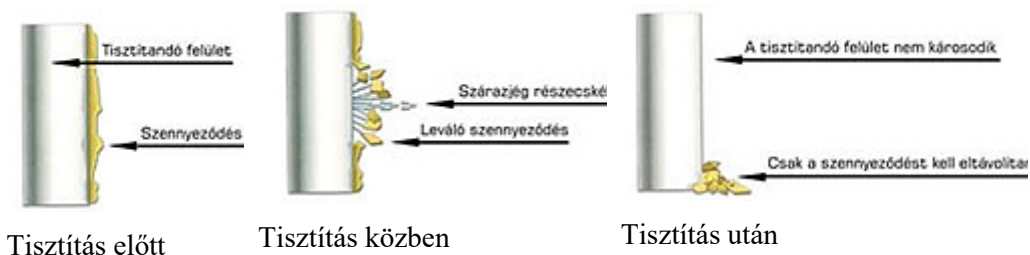
A szárazjeges tisztítás az iparban előforduló szennyeződések és lerakódások kiváló minőségű tisztítására használt technológia [3]. A gépeket, berendezéseket a tisztításhoz nem szükséges megbontani, szétszerelni. Azt a szennyeződést, amit drótkéfével, csavarhúzóval, spaklival vagy hasonló szerszámmal meg lehet bontani, sérteni, a szárazjég szórásos technológiával tökéletes minőségben lehet tisztítani. Mindez úgy történik, hogy az alapfelület nem károsodik, szemben az egyéb szemcseszórásos tisztítási technológiákkal.



3.10. ábra: A szárazjeges tisztítás gépei [3]

A tisztítás elve és folyamata

A szárazjég darabokat (pelletet) nagynyomású és nagy mennyiségű levegő segítségével szórjuk a tisztítandó felületre. A szárazjég szóró berendezés közel 300 m/s sebességgel fújja a tisztítandó felületre a pelleteket. A szennyeződések megkeményednek, törékennyé válnak az alacsony hőmérséklet hatására. Ez lecsökkenti a rugalmasságukat és tapadó képességüket, ezáltal könnyebbé válik az eltávolításuk. A hirtelen helyi „fagyasztás” hatására a szennyeződések összezsugorodnak, megrepedeznek, melynek következtében az eltávolítandó szennyeződés elválik az alapfelülettől. A szárazjég szemcsék (pelletek, $-78,50^{\circ}\text{C}$ hőmérsékletű) nagy sebességgel csapódnak be a felületbe. A szennyeződés eltávolítását a szemcsék által bevitt mozgási energia is segíti. A szárazjég átalakulása alatt a nagyon hideg jégdarabok a relatív meleg megtisztítandó felülettel érintkezve szinte azonnal gáz halmazállapotúvá válnak (szublimálnak). Ezt a folyamatot a gáz (több százszoros- kb. 700-szoros) térfogat növekedése kíséri, amely a széndioxid (CO_2) tulajdonképpen mikro-robbanása. Ez a robbanás ellöki a már leoldódott szennyeződést és a sűrített levegő segítségével lesöpri azt a szennyezett felületről. Minél nagyobb a hőmérséklet különbség a tisztítandó felület és a szárazjég között, annál hatékonyabb a szárazjeges tisztítás! A tisztítás után a felület száraz marad, nem igényel semmilyen kezelést, a szóróanyag szublimál, melléktermék vagy veszélyes hulladék nem keletkezik. A tisztítás után a felület teljesen száraz marad, nem igényel semmilyen kezelést, melléktermék vagy veszélyes hulladék nem keletkezik.



3.11. ábra: Szárazjég tisztítási folyamat [3]

Környezet barát, sokoldalú egyszerű üzemeltetés. Szinte bárhol lehet használni ezt az eljárást, de természetesen csak ott van értelme, ahol gazdaságos, vagyis más tisztítási technológiákkal nem lehet vagy csak nagyon nehézkesen lehet eltávolítani a szennyeződést.

4 GÉPALKATRÉSZEK FELÚJÍTÁSA MECHANIKAI MÓDSZEREKKEL

Az elmúlt idők folyamán igen sokféle felújítási eljárás kidolgozására, kipróbálására és gyakorlati alkalmazására került. Az alkatrész-felújítás legrégebbi keletű és a legegyszerűbb módszerei a mechanikai eljárások. Ez lehet a javítóméretre forgácsolás és perselyezés vagy hüvelyezés, egyengetés és maradó alakváltozás [1,2].

4.1 Felújítás javítóméretre forgácsolással

Az alkatrész-felújítás legrégebbi és legegyszerűbb módszere a javítóméretre munkálás. Ennek során egy megadott méret tartásával alakhelyesre munkáljuk a kopott tengelycsapot, furatot vagy egyéb illeszkedő felületrészt. Gyakorlatilag a következő két esettel találkozunk:

- Javításkor az alakhiba vagy felületi károsodás minimális réteg lemunkálásával megszüntethető, így az alkatrész csereszabotossága megmarad.
- A kopás, berágódás stb. olyan mértékű az alkatrészen, hogy az alakhelyesre munkálás után az új méret lényegesen eltér az eredetitől, tehát az alkatrész csereszabotossága megszűnik.

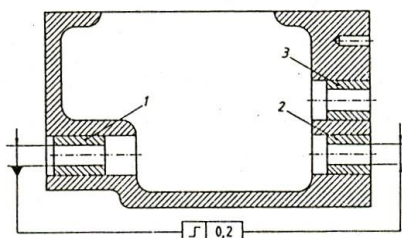
Az első esethez sorolhatjuk például a hidraulikus, pneumatikus egységben előforduló henger-, dugattyúpалástokat, ahol a megfelelő tömítés céljából elégséges a palást felcsiszolása. E művelettel főként a felületi karcokat, szennyeződések és rozsdafoltokat távolítjuk el. Ugyancsak e kategóriához tartozik szeleptányérok és szelepelemek szabályozása, csiszolása. Itt a lemunkált réteg esetenként a mm-es nagyságrendet is elérheti anélkül, hogy a csereszabotosság megszűnne.

Nagy előnyt jelent a felújításkor, ha a javítási méretlépcsőket már gyárilag meghatározzák és ennek megfelelő pótalkatrészeket forgalmaznak. Jó példa erre a motorok forgattyús mechanizmusa, ahol az illesztett alkatrészpárokat 2-3 méretlépcsőben készítik. Az illesztés jellege és minősége nem változhat bármilyen méretlépcsőt alkalmazunk is. Különös gondot kell fordítani a kéregedzett részek javítóméretre szabályozására. A kéregkeménység – mind a cementált, mind pedig indukciósan edzett felületeknél – rohamosan csökken a rétegmélység függvényében. Ezért csak olyan mértékű lemunkálás engedhető meg, ami nem csökkenti a keménységet a szükséges szint alá. Különösen vonatkozik ez a tűgörgővel szerelt tengelycsapokra, ahol a felületi terhelés koncentráltan jelentkezik. Szükség szerint az eredeti keménységet pótlólagos hőkezeléssel kell helyreállítani.

A javítóméretet az egyéb szilárdsági tényezők is befolyásolják. Szigorú mérethatárok között lehet csak szabályozni például a forgattyústengelyeket, fékdobokat, féktárcsákat stb.

4.2 Felújítás perselyezéssel

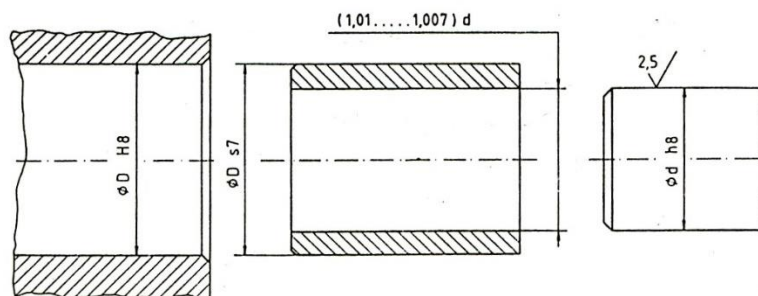
Kopott furatok méreteinek helyreállítása igen gyakran perselyezéssel valósítható meg legcélszerűbben. Egy-egy speciális esetben tengelyek méretnövelésére is alkalmazzák e módszert. A perselyek anyagát, kialakítását, továbbá a rögzítés módját esetenként az igénybevételtől függően kell meghatározni. A fontosabb szempontokat és követelményeket néhány gyakorlati példa kapcsán foglaljuk össze.




4.1. ábra: Szivattyúház felújítása perselyezéssel [1]

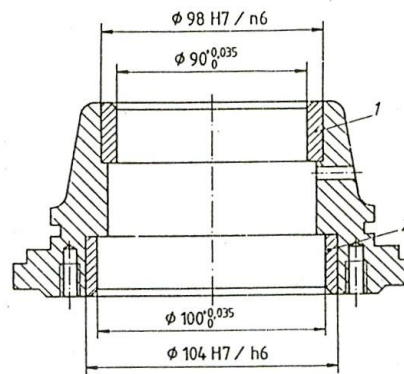
A 4.1 ábrán látható szivattyúházban bronzperselyek szolgálnak a tengelyek csapágyazására. Furatkopás vagy lazulás esetén a perselyeket kicseréljük a házból és az eredetivel azonos anyagból készített perselyeket szerelünk be szilárd illesztéssel (H7/n6). A furatok mérete az eredeti illesztésnek megfelelően legyen. Az 1. és 2. jelű perselyek furatát ráhagyással kell készíteni és csak besajtolás után szabad kézre munkálni az egytengelyűség biztosítása céljából.

A színesfém csapágyperselyeket az esetek többségében műanyag persellyel is helyettesíthetjük. Különösen olyan beépítési helyeken hasznosíthatók a műanyagok, ahol szennyező közegben, rossz kenési viszonyok között üzemel az alkatrész. Műanyag perselyekre a csapágy játék értékét nagyobbra kell választani, mint a fém csapágyak esetében. Ennek oka egyrészt a fémeknél nagyobb hőtágulás, másrészt pedig az a jelenség, hogy a műanyag a környezetből vizet vesz fel és ennek hatására duzzad. A perselyt a furatban szilárd illesztéssel vagy ragasztással rögzíthetjük legegyszerűbben. Vékony falú perselyt minden esetben ragasztással célszerű rögzíteni.



4.2. ábra: Poliamid csapágyperselyek illesztése [1]

Perselyek készítésére legalkalmasabb műanyagok a poliamid és a textilkakelit néhány típusa. Túlfedéssel rögzített poliamid csapágypersely  ábrán feltüntetett illesztési értékeket lehet alapul venni. Ha a perselyt textilkakelitből készítjük, a furat és a csap javasolt illesztése: H11/c9. A perselyezés másik nagy területét képviselik az olyan estek, amikor nem a kopott csapágyperselyt kell kicserélni, hanem a kopott palást eredeti méretét kell persely ráhúzásával helyre állítani. A 4.3 ábrán látható csapágyházban acélperselyek besajtolásával történt a csapágyfészek felújítása. Az Ø90mm-es furatba a viszonylag vastag falú persely (1) szilárdan illeszthető. A másik oldalon a menetes furatok miatt csak vékony falú persely (2) beszerelésére van lehetőség, ez esetben szilárd illesztés helyett ragasztással célszerű rögzíteni a perselyt. (LOCTITE ragasztó)



4.3. ábra: Csapágyfészek felújítás perselyezéssel [1]

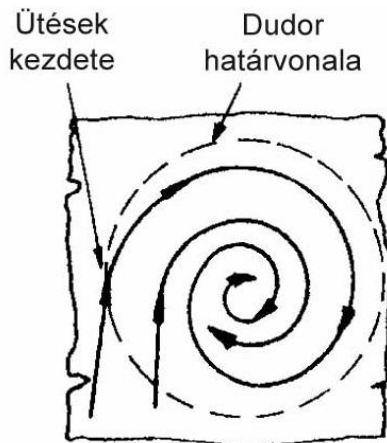
Külső kopott palástfelületek felújítása szilárd illesztésű acélhüvely rásajtolásával történik. A javasolt illesztés H7/h6 és célszerű a hüvelyt 100-150°C-ra felmelegítve szerelni. Meg kell jegyeznünk, hogy a szilárd illesztésű perselyek átmérői a fel-, illetve besajtoláskor megváltoznak. Ezért a készre munkálást célszerű a beszerelés után elvégezni, vagy ha erre nincs lehetőség, a méretváltozást előre be kell számítani a tőrési értékek megadásánál.

4.3 Egyengetés

A maradó alakváltozással megvalósított felújítás legegyszerűbb formája az egyengetés. Megkülönböztetünk durva és finom egyengetést. A durva egyengetést hideg vagy meleg állapotban hajtjuk végre mérettől függően, s a művelet során az alkatrész nagyobb görbületeit vagy csavarodását szüntetjük meg. A finom egyengetést hidegen végezzük, hogy az alkatrész az előírt tőrésnek megfelelően alakhelyes legyen. Hideg egyengetéshez alkalmazhatunk statikus vagy dinamikus erőhatást. Egyszerűbb esetben egyengethetünk kalapácsütésekkel. Kis erőigény esetén tengelyek finom egyengetése elvégezhető esztergán, tokmány és csúcs közé vagy két csúcs közé befogva úgy, hogy az egyengető erőt a keresztzán orsójával fejtjük ki a késtartóba fogott puha fémbetétlen keresztül. A hidraulikus szerelősatuval nagyobb erők fejtethők ki. Egyengetés után a nagyobb igénybevételű tengelyeket műszeres repedésvizsgálattal ellenőrizzük.

A lassan ható erővel kétféle egyengető hatás érhető el a munkadarab vastagságától függően. Vastagabb anyagok – például laposacélok – egyik szélső szálának erőteljes kalapálásával maradó megnyúlás idézhető elő, amely alakváltozást hoz létre, s így egyengetésre használható. Az ily módon egyengetett tárgyak hőhatásnak nem tehető ki, mert a tömörítéssel deformált rész feszültségei oldódnak, s a felszabaduló rugalmas erők ismételt deformációt idéznek elő. Vékony deformálódott lemezeket gyors, könnyű kalapácsütésekkel egyengethetünk a dudor felőli oldalról, 3mm vastagságig, keményfa, keménygumi kalapáccsal vagy simítóval és ráverőkalapáccsal.

A kisebb dudorokat a 4.4 ábrán feltüntetett módon kell egyengetni. Az ütögetést a dudor szélén kezdjük, és spirálvonalban haladva közeledünk a dudor közepéhez.



4.4. ábra: Spirálvonalú egyengetés két sorban [1]

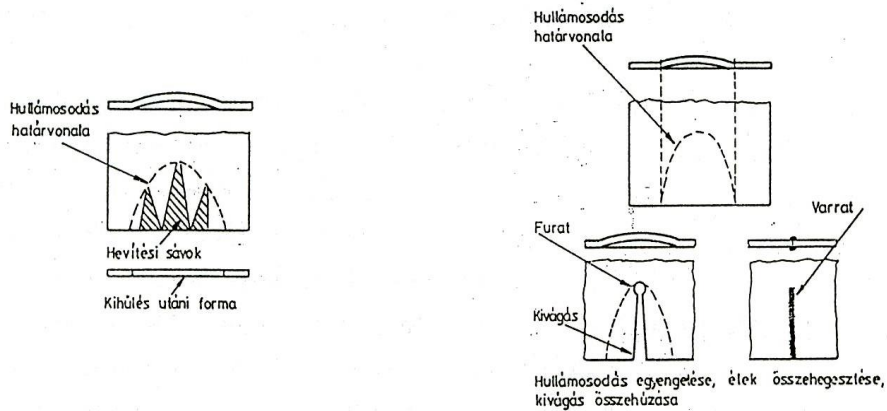


4.5. ábra: A hevítési helyek elhelyezése [1]

Melegegyengetéshez a munkadarabot gázhegesztővel felmelegítjük 650-850°C-ra. A láng nagyságát a tárgy vastagságától függően állítjuk be. A megadott hőmérséklet határokat célszerű betartani, mert kisebb hőmérsékleten – az egyengetés során – repedések keletkeznek, nagyobb hőmérséklet szemcsedurvulást és káros szövetszerkezeti változást okozhat. Egy helyen többször ne izzítsuk fel az alkatrészt. Ha egyszeri izzítás nem volt elegendő, akkor a további hevítést az előzőleg már hevített helyek közé telepítsük (4.5 ábra). Melegegyengetéskor a zsugorodási feszültségekkel érjük el az egyengető hatást. A jelenség azzal magyarázható, hogy a felmelegített rész a hőmérséklet hatására terjeszkedne, de a hideg környezet ezt megakadályozza. Ennek következtében a felhevített rész zömítődik, s a lehűléskor keletkező húzófeszültségek egyengető hatást fejtenek ki.

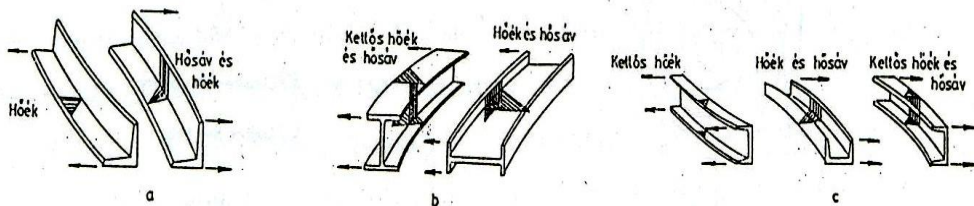
Az egyengetés hatása annál erőteljesebb, minél gyorsabban végezzük a felmelegítést és a lehűtést, továbbá minél keskenyebb a felhevített sáv. A túlzottan keskeny hevítési sáv azonban repedésre hajlamos. A hűtés intenzitásának növelésére ausztenites CrNi acélokhoz (80-90% ferrittartalomnál) vízpermetet alkalmazhatunk.

A 4.6 ábra egy hullámosodott lemezalkatrészt szemléltet. A horpadás helyén az anyag megnyúlt, tehát a lemezt csak úgy lehet az eredeti alakra egyengetni, ha a megnyúlt részt kivágjuk vagy visszazömítjük. A kivágás, összehúzás és hegesztés hosszadalmas, a varrat zsugorodása újabb hullámosodást idézhet elő, ezért hőékek alkalmazásával egyszerűbben visszazömíthetjük a megnyúlt anyagrészt, így az egyengetés gyorsan elvégezhető.



4.6. ábra: A hullámosodott lemez egyengetési módjai [1]

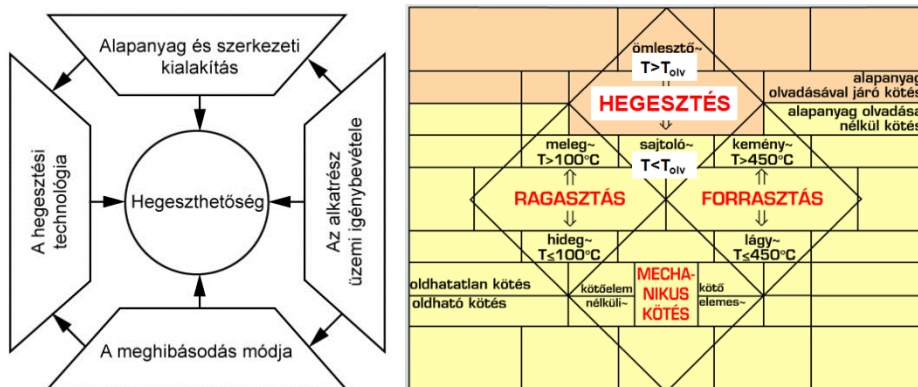
A 4.7 ábra különböző idomacélok lehetséges görbülési eseteire mutatja a hőék és a hősáv elhelyezési módjait. Az egyengető hatás a melegzömítés hatására a nyilaknak megfelelő irányú. Bármilyen görbüléssel állunk szemben, lényeges, hogy a megnyúlt részeket keressük meg, és ezekre helyezzük el a hőékeket és a sávokat, így elérhető, hogy külső erőhatás nélkül tudunk egyengetni.



4.7. ábra: A görbült idomacélok hevítési alakzatai [1]

5 KÖTÉSI TECHNIKÁK-FÉMES ANYAGOK

A kötő gépelemeket két vagy több szerkezeti elem összekötésére használjuk, mely lehet oldható és nem oldható kötés. Az oldható kötések fő jellemzői biztosítják az összekötendő szerkezeti elemek utólagos szétválasztását, vagyis szét és összeszerelhetőségét. Ebbe csoportba tartoznak a csavarkötések (kötő- és mozgató csavarok, ék és reteszkötések, csapszeges kötések, súrlódásos kötések (önzárókúpkötések), oldható zsugorkötések. A nem oldható kötések az alkatrész sérülése nélkül nem szüntethető meg. Ebbe a csoportba sorolható a szegecskötés, hegesztett kötés, forrasztott kötés, ragasztott kötés és a zsugorkötés. 5.1 ábra a kötési módokat és a hegeszthetőséget befolyásoló tényezőket szemlélteti [1].



5.1. ábra: Hegeszthetőséget befolyásoló tényezők és kötési módok [1]

Hegesztés egy olyan technológiai eljárás, amely során két vagy több munkadarabot hővel, olvadással, vagy nyomással (erőhatással) egyesítünk, úgy, hogy a darabok között nem oldható, az anyagok természetének megfelelő fémes (kohéziós) kapcsolat jöjjön létre. Hegesztéskor a fémes alkatrészek összekötésére belső erőket, a fémek atomjait és molekuláit összetartó erőket használnak fel.

Hegesztés alkalmazása:

- nagyméretű, több részből álló acélszerkezetek (ipari) gyártására,
- egyéb berendezések, eszközök kiegészítő kötéseiként alkalmazzák

Hegesztés célja szerint lehet ha, két vagy több munkadarab egyesíthető (kötőhegesztés) vagy adott tulajdonságú felületet lehet kialakítani (felrakó hegesztés). (5.2 ábra)

HEGESZTÉS	KÖTŐ (hozaganyaggal vagy hozaganyag nélkül)	FELRAKÓ (saját vagy idegen hozaganyaggal)
GYÁRTÓ	<ul style="list-style-type: none"> • terhelésátvitel • hermetikus zárás • áramátvezetés • hőátvezetés céljából 	<ul style="list-style-type: none"> • felületmódosítás (felületkezelés) • szerszámélmékpézés (élfelrakás) céljából
JAVÍTÓ	<ul style="list-style-type: none"> • anyagfolytonossági hiányok (pl. repedések vagy zárványok) kitöltése céljából 	<ul style="list-style-type: none"> • anyagtérfogati hiányok (pl. lekopott vagy korrodált részek) pótlása céljából

5.2. ábra: Hegesztések alkalmazásai [1]

A hegesztés folyamata szerinti csoportosítás, szerint beszélünk:

- ömlesztő hegesztésről, ahol a az egyesítendő elemek a kötés helyén megömlenek,
- sajtolóhegesztésről, ahol hő-és erőhatás, vagy csak erőhatás útján jön létre a kötés.

A hegesztés kivitelezési módja szerinti csoportosítás:

- Kézi hegesztés.
- Félautomatikus illetve automatikus hegesztés.
- Teljesen automatizált (robot-rendszerű) hegesztés.

Energiaforrás szerinti csoportosítás:

- A villamos ív által végzett ömlesztőeljárások.
- A termokémiai elven működő eljárások energiaforrása hő termelő (exoterm) kémiai reakció.
- A sugárenergia által végzett ömlesztőhegesztések.
- Az elektromos ellenállás elvén működő eljárások.
- A mechanikai energiafelhasználásán alapuló.
- A nemzetközi előíráshoz - a hegesztési eljárásoknak megfelelően számkódokkal jelöl.

Ezek közül néhányat sorolunk fel [2].

111 Fogyóelektródás kézi ívhegesztés bevont elektródával

131 Fogyóelektródás semleges védőgáz as ívhegesztés (MÍG)

135 Fogyóelektródás aktív védőgáz as ívhegesztés (MAG)

141 Volfrámelektrodás védőgázos ívhegesztés (TIG)

311 Oxigén-acetilén gázhegesztés

15 Plazmaív-hegesztés (PAW)

751 Lézersugaras hegesztés

76 Elektronsugaras hegesztés

5.1 A hegesztőeljárás kiválasztásának szempontjai

1. Az alkalmazható hegesztési eljárást elsősorban a hegesztendő anyag határozza meg.

- kis karbontartalmú ($C < 0,2\%$), minimális ötvöző tartalmú ferrit-perlites szerkezetű
- acélok általában feltétel nélkül hegeszthetők.
- ötvözött acélok hegeszthetőségének megítéléséhez bevezethető a „karbon egyenérték” fogalma (feltétel nélküli hegeszthetőség $C_E < 0,45\%$):

$$C_E = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Cu + Ni}{15} (\%)$$

- ötvözőanyagok hatása a hegeszthetőségre:
- nem befolyásolja: nikkelt (Ni) .
- csökkenti: szén (C), króm (Cr) .
- javítja: mangán (Mn), molibdén (Mo),

2. A készítendő varrattal szemben támasztott követelmények

3. A hegesztett kötés igénybevétele: statikus vagy dinamikus hatásnak lesz-e kitéve, éri-e hőhatás, korróziós veszély.

4. A hegesztés körülményei:

- szabadban vagy zárt helyiségben hegesztenek-e;
- hegesztési helyzet (vízszintes, függőleges, fej feletti);
- különösen nehéz vagy veszélyes munkakörülmények (pl. tartály hegesztése belülről);
- környezetvédelmi szempontok;

5. A gyártás jellege: egyedi vagy sorozatgyártás.

6. Készülékezés.

7 A rendelkezésre álló munkaerő gyakorlottsága, szakképzettsége [1][2].

5.2 Hegesztés feltételei

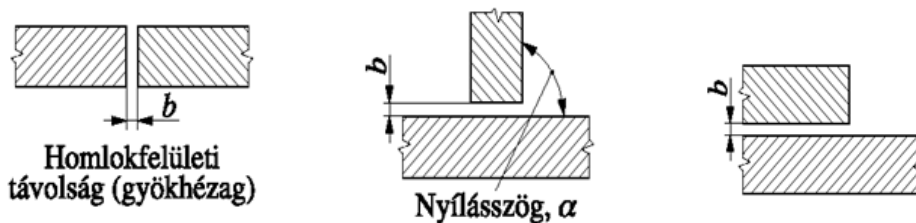
- Személyi feltételek: A feladat megvalósításához megfelelő felkészültségű és képzettségű személyzet szükséges.
- Gyártási előírások: Tervdokumentációk, technológiai előírások, szabványok, gyártás alkalmassági előírások.
- Anyagok: Alapanyagok, hegesztőanyagok, segédanyagok.
- Hegesztő berendezések: Gázhegesztő apparát, hegesztő áramforrások, speciális hegesztőgépek.
- Vizsgáló és mérőberendezések: Roncsolásos és roncsolásmentes anyagvizsgáló berendezések, hitelesítés, kalibrálás.
- Vizsgálatok: Gyártás előtt, gyártás alatt, gyártás után [2].

5.3 A hegesztendő munkadarabok előkészítése

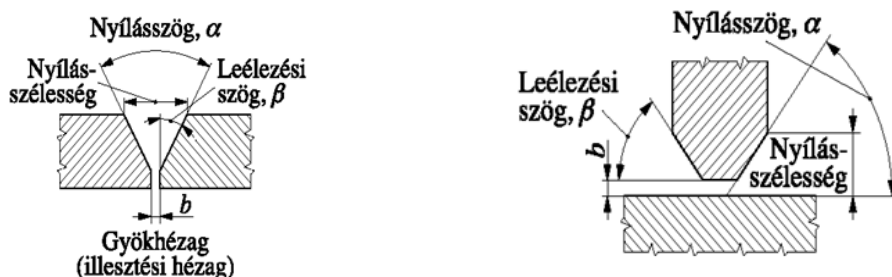
- felületek tisztítása
- a hegesztendő élek kialakítása mechanikusan (forgácsolással), termikusan (lángvágással, plazmavágással, ...).

5.3.1 A hegesztő élek kialakítása

Lemezek illesztése hegesztéshez (5.3 ábra, 5.4 ábra) [1][2]:



5.3. ábra: Merőlegesen leélezett lemezek [2]

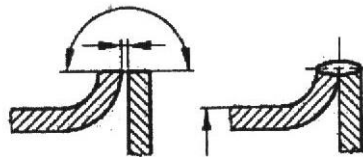


5.4. ábra: Szög alatt leélezet lemezek [2]

a. Az élalak függ: az anyagvastagságtól, keresztmetszettől, a hegesztendő anyag minőségétől és a kötés fajtájától.

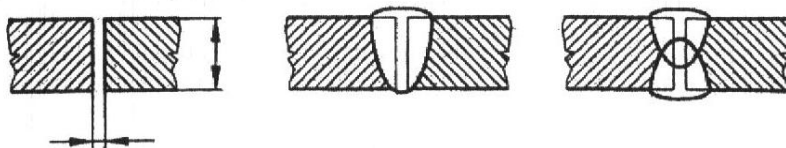
Nem lehet általános érvényű szabályokat felállítani, minden esetben külön-külön vesszük figyelembe a konstrukciós, technológiai elvárásokat

- Peremvarrat: Vékony lemezanyagok (2 mm-ig) hegesztésére alkalmazzák. Az élék felhajtása gondos munkát igényel (8.5 ábra).



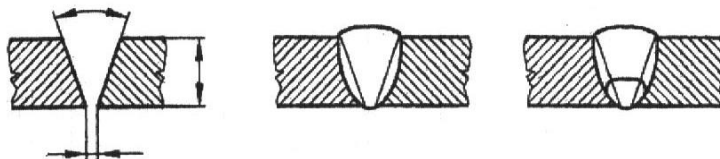
5.5. ábra: Peremvarrat [2]

- I-varrat: Leélezés nélkül hegeszthető 4 mm-es lemezvastagságig. 3 mm lemezvastagság felett ajánlatos kétoldali I-varratot alkalmazni a megfelelő hézag biztosításával (max: 8 mm-ig) (5.6 ábra).



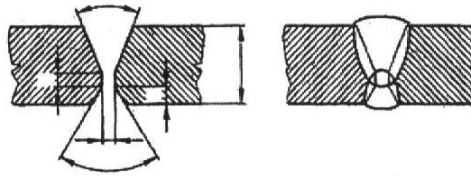
5.6. ábra: I varrat [2]

- V-varrat: 12 mm-ig alkalmazzuk. A munkadarab éleit 30-30 fokos leélezési szöggel alakítjuk ki (5.7 ábra).



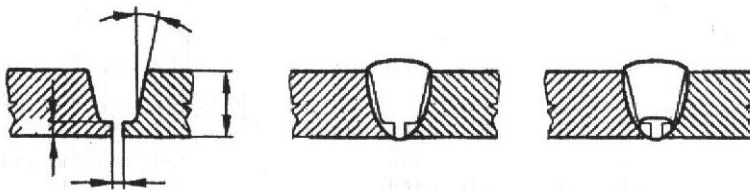
5.7. ábra: V varrat [2]

- X-varrat: 12 mm-ig anyagvastagság felett célszerű alkalmazni, mert kevés hegesztő anyag szükséges, mint a V-varrathoz. Kétoldali szimmetrikus hőbevitel következtében csökkenthetők a vetemedések is, szemben a V-varrattal. (5.8 ábra)



5.8. ábra: X varrat [2]

- U-varrat: 15 mm-nél vastagabb anyagoknál célszerű alkalmazni, mert a keresztmetszet kisebb, mint az X-varraté. Ez a lemez élkiképzés drága. (5.9 ábra)



5.9. ábra: U varrat [2]

c. Kötés és varratípusok

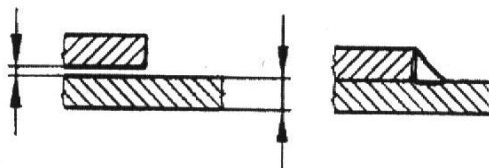
A hegesztett kötési a hegesztendő elemek egymáshoz viszonyított helyzete jellemzi.

Tompakötés. A munkadarabok egymással 0° -ot zárnak be. Törekedjünk, hogy a hegesztendő munkadarab vízszintes síkban helyezkedjen el. Sokszor ez a feltétel nem teljesíthető, és akkor a hegesztést ettől eltérő helyzetben kell elvégezni. Például függőlegesen, fej felett, haránt helyzetben. Varrat típusok tompakötés esetén: peremvarrat, I-varrat, V-varrat, X-varrat, U-varrat stb.

Sarokkötés. A munkadarabok egymással szöget zárnak be.

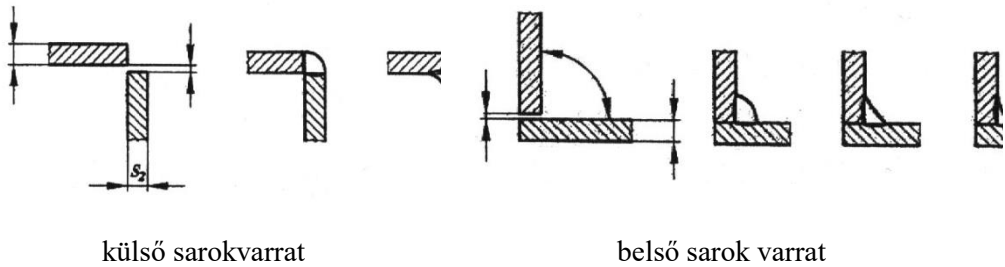
Elhelyezkedésük szerint megkülönböztetünk:

- Átlapoló kötés. Az elemek egymással párhuzamos síkban fekszenek, egymást részlegesen átlapolják, sarokvarrat (5.10 ábra):



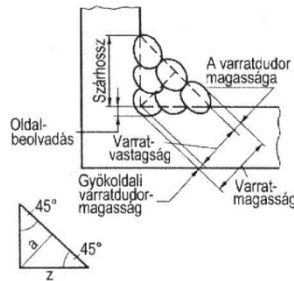
5.10. ábra: Átlapoló kötés, sarokvarrat [2]

- Sarokkötés (5.11 ábra):



5.11. ábra: Sarokkötések [2]

A sarokkötést általában a sarokvarrat jellemző méretével kell megadni, a mérettel, amely a varratkeresztmetszet legkisebb mérete, a varratba beírható legnagyobb egyenlő szárú derékszögű háromszög átfogójához tartozó magasság (5.12 ábra).

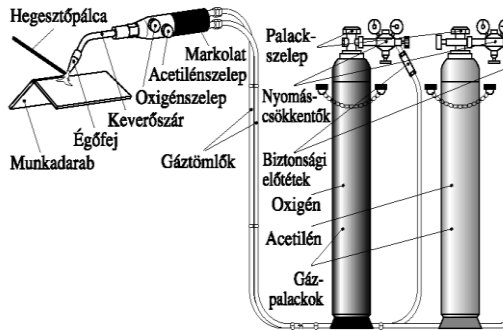


5.12. ábra: Sarokkötés jellemző méretei [2]

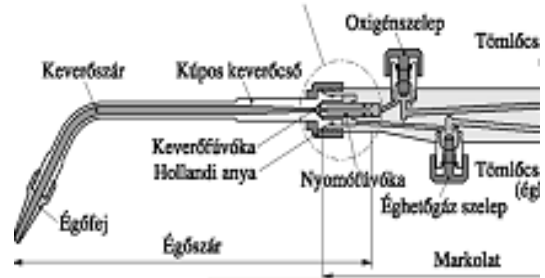
5.4 Alkalmazott hegesztési eljárások

5.4.1 Gázhegesztés, kódszám: 311

A gázhegesztéshez hőforrásként éghető gáz (leggyakrabban az acetilén (C_2H_2) és oxigén(O_2) gázkeverék elégetésekor keletkezett lángot használnak. A gázhegesztéskor az alapfém és a hegesztópálca anyaga egybeolvad az égőfej szájnnyílásánál kialakított szúróláng hatására (láng hőmérséklete kb. 3200 C^0). A megömlött lemezszél és a hegesztópálca anyaga egy közös hegfürdőben összekeveredik, amely megdermedés után folyamatos varratot képez (8.13 ábra). A gazdaságos alkalmazási területe: kötőhegesztéshez minden helyzetben, csővezetéképítés, karosszériaipar, karbantartás, öntöttvasak hegesztése, felrakóhegesztés. A hegesztés technológiai folyamata azon műveletek összessége, amelyek eredményeként adott varrat, illetve hegesztett szerkezet létrehozható [1][2].



5.13. ábra: A gázhegesztés elrendezése [1]



5.14. ábra: A hegesztőpisztoly felépítése [1]

Gázhegesztő anyagok

A gázhegesztéshez szükséges hegesztő anyagok: hegesztőgáz (éghető gáz, oxigén), hegesztőpálca, folyósító szer [1][2].

Éghető gázként, elsősorban acetilént (C_2H_2) használnak, palackban tárolva és acetonban oldva. Ritkábban fölgázt, propánt, butánt, de ezek hőteljesítménye kisebb. Oxigént szintén palackban tárolják. Oxigénnel érintkezésbe kerülő alkatrészeknek zsír- és olajmentesnek kell lenniük.

Hegesztőpálca megválasztásának szempontjai:

A hegesztendő anyag minősége, a hegesztendő lemez vastagsága, a hegesztési technológia (balra vagy jobbra hegesztés), a hegesztési helyzet, a beállított gyökhézag mérete, a lángfajta (kemény, lágy stb.).

Folyósítószer:

Feladata a felületen lévő oxidok feloldása, újraoxidáció megakadályozása, valamint a megömlés és a folyósítás elősegítése (a munkadarab felületén levő fémoxidok elsalakosítja). A különböző anyagokhoz különböző folyósítót kell alkalmazni. Anyaga lehet por, paszta és folyékony állapotú. Folyósítószer szükséges az öntöttvasak, a korrózió, sav- és hőálló acélokhoz, rézhez és ötvözetekhez, alumíniumhoz és ötvözetekhez

Hegesztőpisztoly

A lánghegesztéshez alkalmas szúrólángot a hegesztőpisztollyal állítjuk elő amelyben az égőgáz és az oxigén a beállított arányban keveredik. (8.14 ábra, 8.15 ábra)

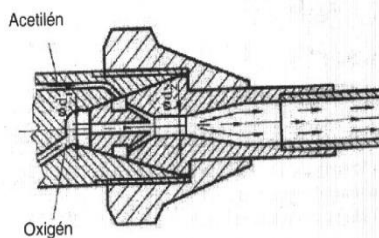
Az acetilén - oxigén láng összetétel szerint lehet, semleges láng, gázdús láng és oxigéndús láng.

Az acetilén - oxigén láng összetétel szerint lehet, semleges láng, gázdús láng és oxigéndús láng.

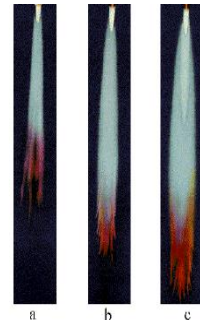
A láng képe alapján a láng összetétele beállítható. (8.16 ábra)

A semleges lángot az acetilén és az oxigén 1:1,1 keverési aránya adja. Semleges lánggal hegesztjük az acélokat, a korrózió és hőálló acélokat, acélöntvényeket, temperöntvényeket, rezet, bronzot, alumíniumbronzot, nikkelt, cinket, ólmot.

Gázdús lángot akkor kapunk, ha az acetilén mennyiségét növeljük. Gázdús lánggal hegesztjük az öntöttvasat, a nagy széntartalmú szénacélt, az alumíniumot és ötvözeteit (hogy az oxidációt elkerüljük). Az oxigéndús lángot az oxigén arányának növelésével állíthatjuk be. Jellemzője a rövid lángmag, elmosódott pillangó, lilás seprű. Oxigénlánggal hegesztjük a sárgarezet.



5.15. ábra: A hegesztőpisztoly injektora[2]

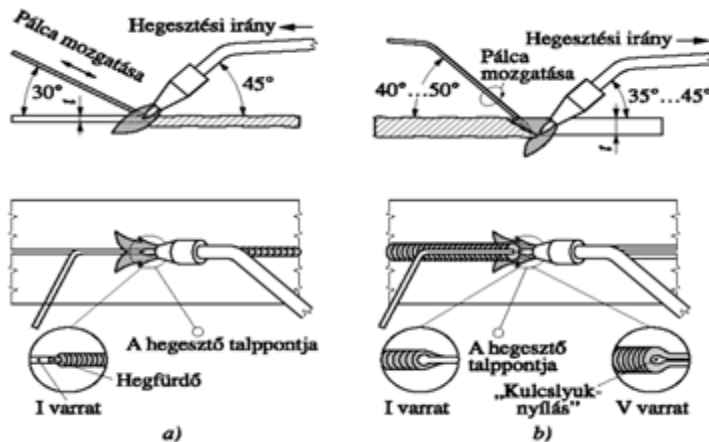


Semleges Oxidáló Redukáló

5.16. ábra: Lángtípusok [1]

A gázhegesztés végrehajtása

A balra hegesztést (8.17/a ábra) (a pálcza elől halad, és a hegesztő égő köröző mozgást végez) vékony lemezekhez ($s \leq 3$ mm) a jobbra hegesztést, vastagabb lemezeknél és csöveknél alkalmazzuk. A jobbra hegesztésnél (8.17/b ábra) a varratot hevítjük, így mélyebb beolvadási mélységet érünk el.



5.17. ábra: A hegesztőpisztoly felépítése ■

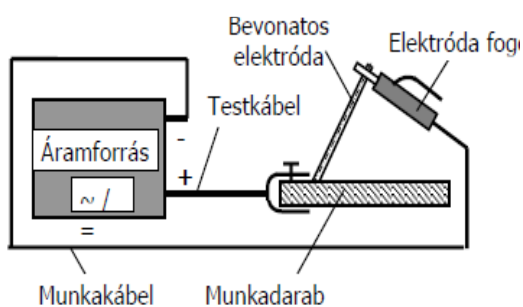
a. balra hegesztés, b. jobbra hegesztés

A lánghegesztés alkalmazása

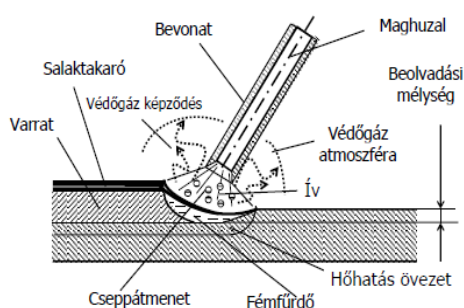
Helyi hegesztéseknél, épületgépészeti szereléseknél. Javító hegesztéseknél (pl. karosszéria javítás). épületgépészeti szereléseknél – központifűtés-, vízvezeték-, gázvezeték csövek hegesztése – más eljárások nem, vagy nagyon nehezen alkalmazhatók.

5.4.2 Bevont elektródás kézi ívhegesztés, kódszám: 111

Az ívhegesztés elve az, hogy az alapanyagot és a hozaganyagot villamos ív által fejlesztett hő ömleszt meg (5.18 ábra, 5.19 ábra). Az áramforrás egyik pólusa a hegesztendő munkadarabra, a másik pedig az elektródára van csatlakoztatva. A hegesztés végezhető egyenárammá! vagy váltakozó árammal.



5.18. ábra: Bevont elektródás ívhegesztés [1]



5.19. ábra: Kézi ívhegesztés folyamata [2]

Az egyenáram hegesztési viszonyai kedvezőbbek, váltakozó áramnál az ív nyugtalanabb, a hegesztési hőfok alacsonyabb. Lánghegesztéshez viszonyítva nagyobb a hegesztési teljesítmény, így kisebb a hővesztés, amely a kisebb zsugorodási feszültségeket és deformációkat eredményezi. Polaritás: egyenes (elektróda a negatív sarokhoz kötve) fordított (elektróda a pozitív) Alkalmas kötő-, felrakó- és javítóhegesztésre egyaránt.

Az ívhegesztéshez alkalmazott elektróda a hegesztendő anyagtól függően lehet acél, réz, alumínium, a huzal méretek tartománya $\varnothing 2 \dots 5$ mm; jellemző hossza $L 250 \dots 450$ mm, a bevonat pedig ívstabilizáló, védőgáz- és salakképző, ötvöző anyagokat tartalmaz. Elektróda bevonatának típusai:

- rutilos (R), alapvetően rutilt (TiO_2) tartalmaz, finomcseppes az anyagátmenet,
- cellulóz (C), szerves anyagot, cellulózt tartalmaz (gázképzés),
- bázikus (B), karbonátokat ($CaCO_3$) tartalmaz, nedvszívó, ki kell szárítani.
- Salak a bevonatból és a huzalból keletkezik, védi a varrat felületét.

Bevont elektródás kézi ívhegesztés eszközei, áramforrása (transzformátor), hegesztő kábelek (az áramforrás és az elektróda, illetve a munkadarab közt), elektróda fogó, munkadarab fogó és különböző a feladatnak megfelelő a hegesztendő lemezek

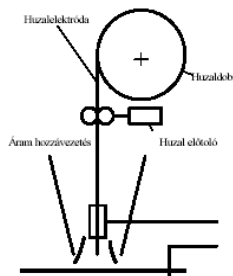
helyzetben tartására alkalmas rögzítő eszközök. A hegesztés végrehajtása áll egy ívhúzásból, elektróda tartásból és vezetéssből. A hegesztési helyzetek lehetnek vízszintes, fej feletti és függőleges, alulról felfelé.

Bevont elektródás kézi ívhegesztés alkalmazásai:

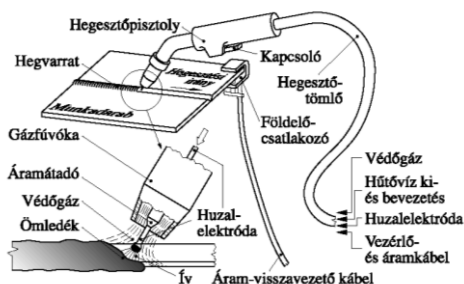
- Az ipar minden területén alkalmazzák, egyszerű, olcsó. Gyakorlatilag minden anyag hegesztésére létezik elektróda és technikája megtanulható, nem igényel jelentős beruházást sem.
- Erősen ötvözött acélokat kb. 75 % - ban bevonatos elektródával hegesztenek.
- Felrakó hegesztéshez a legtöbb hegesztőanyag bevonatos elektróda formájában áll rendelkezésre.
- Az eljárással az ipar igényeinek megfelelő kötések készíthetők, így gyakorlatilag minden területen megtalálható
- Hátránya elsősorban a kis leolvadási teljesítmény és az emberi tényezők jelentős szerepe

5.4.3 Fogyóelektródás semleges védőgázos ívhegesztés MIG-hegesztés (Metál Inert Gas), kódszám:131 (Régi jelölése; AFI)

A hegesztőáram a huzalelektróda és a munkadarab között 6000 °C feletti ívet hoz létre. A huzalelektróda cseppek formájában olvad le, amelyet a huzalelőtoló berendezés biztosít. Az elektróda dobról lecsévélt, egyenletesen előtolt huzal, amely folyamatosan olvad le (5.20 ábra). Egyenáramú áramforrással, fordított polaritással hegesztenek leggyakrabban. A varrat védelmét a huzal mellett kiáramló semleges gáz (argon, hélium) látja el. Szokás AFI - argon védőgázos, fogyóelektródás ívhegesztésnek - is nevezni. Az argon jól ionizálható, azonban a feszültség esése az argonívben kisebb, mint a többi védőgázban. Az argon kis hővezető képessége következtében az ívben erős sugárirányú hőmérsékletesés jön létre. A beolvadási mélység kisebb, a varratszélesség nagyobb. Szóró-és impulzusív jól beállítható (5.21 ábra)



5.20. ábra: Semleges védőgázos ívhegesztés(MÍG) [1]



5.21. ábra: Kézi ívhegesztés folyamata [1]

Huzalelektroda, lehet tömör vagy töltött. A tömör huzalelektroda jellemző mérete: 0,8-2,4 mm. A huzal készül rézbevonat nélküli és rézbevonatos kivitelben. A vékony rézbevonat feladata, a huzalelektroda korrózióvédelme, jobb áramátadás, kedvezőbb huzalelőtolás. Hátránya nagyobb előtolás esetén (> 15 m/min) a réz leválásra hajlamos, eltömíti a huzalvezetőt. A védőgáz oxidáló hatását dezoxiáló ötvözéssel (Si, Mn) lehet ellensúlyozni. Töltött huzalelektrodák - egy fémcsőből és egy poralakú magtöltetből állnak.

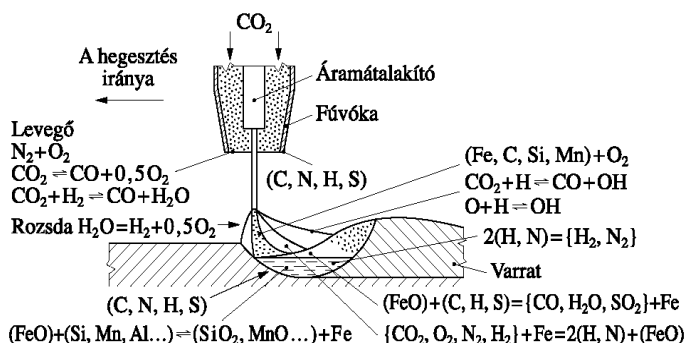
A hegesztés eszközei: áramforrás (állandó feszültségű egyenirányító), huzalelőtoló berendezés, hegesztőpisztoly, tömlőkötveg.

Fogyóelektrodás, semleges védőgázos ívhegesztés alkalmazása:

- Minden fém hegeszthető ezzel az eljárással, de ára miatt elsősorban korrózióálló acélokat, nikkelt és ötvözeteket, színes- és könnyűfémeket hegesztenek.
- Elsősorban nagy beolvadási mélységű töltő és takaró rétegek készítésére javasolt.

5.4.4 Fogyóelektrodás, aktív védőgázos ívhegesztés MAG-hegesztés (Metal-Activ Gas), kódszám: 135 (Régi jelölése: CO₂)

Elrendezése hasonló a semleges védőgázos fogyóelektrodás ívhegesztéshez. Védőgázként széndioxidot (CO₂) használnak, amely hegesztési hőmérsékleten felbomlik szénmonoxidra (CO) és oxigénre (O₂) (5.22 ábra). Az oxigén, oxidáló hatása, ezt a huzal dezoxidáló ötvözésével (Si, Mn, Al, Ti) ellensúlyozzák. Elsősorban ötvözetlen acélok nagy tömegű hegesztésére használják az olcsósága miatt.



5.22. ábra: A MAG hegesztés kémiai folyamata [1]

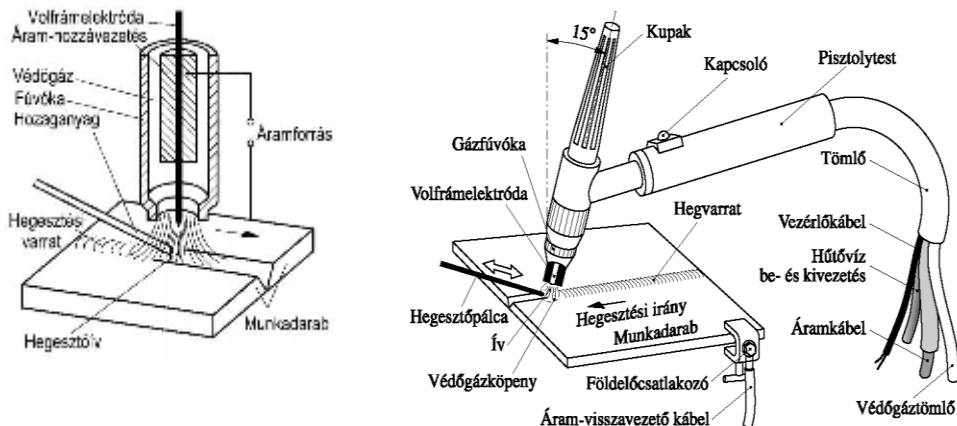
5.4.5 Volfrámelektrodás, semleges védőgázos ívhegesztés (AWI/TIG) (Tungsten Inert Gas)

Az argon védőgáz (lehet hélium is), volfrámelektrodás ívhegesztés (AWI, vagy TIG hegesztésként ismert) (8.23 ábra, 8.24 ábra) olyan eljárás, mely nem leolvadó, volfrám elektrodát alkalmaz. Az ív a nem leolvadó volfrám elektroda és a munkadarab között keletkezik. Az elektrodát, az ívet és a megolvadt hegesztési ömledéket körülvevő területet a levegőtől semleges gáz védelmezi. A védőgáz többnyire argon (lehet hélium is), ezért hívják AWI hegesztésnek is. Amennyiben hegesztőanyag is szükség van, azt a megolvadt ömledék szélénél kell hozzáadni. Az AWI hegesztés kivételesen tiszta, magas minőségű hegesztést biztosít. Minthogy salakanyag nem termelődik, nem fordulhat elő, hogy salak kerüljön a varratfémbe és a befejezett hegesztés gyakorlatilag nem igényel tisztítást. Az AWI hegesztés szinte minden fajta fém hegesztéséhez használható és az eljárás alkalmas mind kézi, mind pedig automatikus eljárásokhoz. Az AWI hegesztést leginkább alumínium és rozsdamentes acélötvözetek hegesztésénél alkalmazzák, amikor a hegesztés hibátlanága kiemelkedő jelentőségű. Széles körben használják a nukleáris-, vegyészeti-, repülő- és élelmiszeriparban magas minőségű hegesztésekhez.

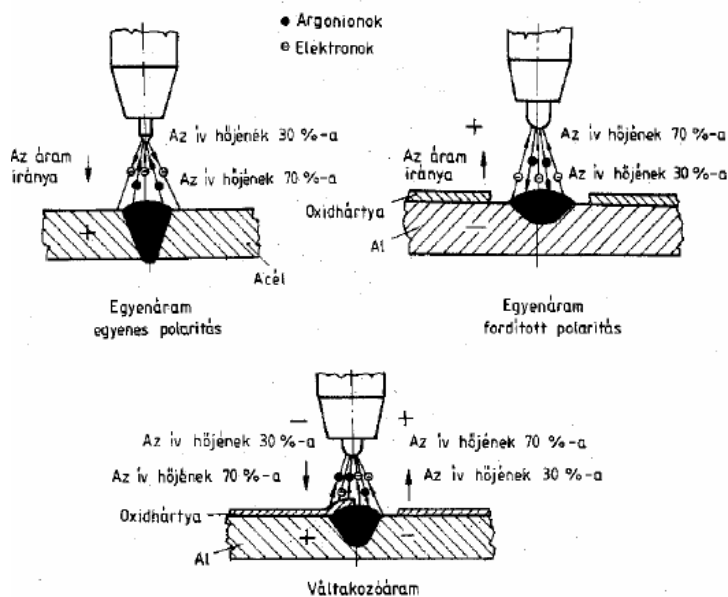
A hegesztés eszközei:

Áramforrás, egyenáramú vagy váltakozó áramú áramforrást is használnak. Az áramellátás mellett egyéb szabályzási funkciói is vannak (ívgyújtás, stabilizálás).

Hegesztőpisztoly az elektroda befogásának és a gáz hozzávezetésének funkcióját látja el, ezeken kívül az áram hozzávezetést és a vízhűtést biztosítja.



5.23. ábra: A AWI/TIG hegesztés elve [1]



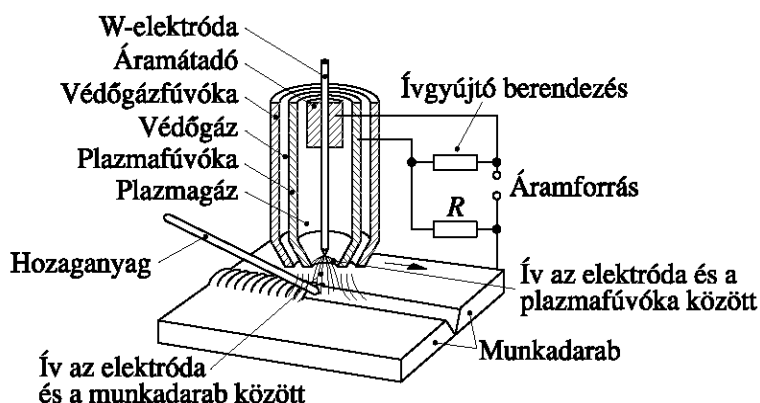
5.24. ábra: ábra Villamos ív az argonatmoszférában és a polaritás szerepe AWI hegesztésnél [4]

A hegesztés végrehajtása

Az ívben keletkező hő eloszlása és az ionok, elektronok vándorlása egyenes és fordított polaritás esetén. Egyenes polaritásnál a beolvadási mélység nagyobb. A hegesztés hozaganyaggal és anélkül is végezhető, ha alkalmaznak hozaganyagot, ezt huzal formájában lehet végezni. Alkalmazásának vannak korlátai: kicsi a leolvadási sebesség és magas szaktudást, gyakorlatot igényel. Al és ötvözetére váltakozó áramot kell alkalmazni.

5.4.6 Plazmaív hegesztés (PAW)

Volfrám elektróda és a munkadarab között égő plazmaív szolgáltatja a hőt (8.25 ábra). A plazmaív ionizált argon áram. A plazmaívet védőgáz burok veszi körül, amely argon és hélium keveréke. A plazmaív nagyobb energiasűrűségű és koncentráltabb, mint a hagyományos AWI hegesztés íve [4].



5.25. ábra: Plazmaív hegesztés elrendezése [4]

Az eljárás széles körben használt a kiváló minőségű hegesztéseknél a repülő/űrutatás iparban, az energia, a vegyi- és olajiparban.

5.5 Fémek hegeszthetősége

A fémek hegesztésénél [2] figyelembe kell venni a hegeszthetőséget. Hegeszthetőség - a fémek hegesztés technológiájától függő alkalmassága a hegesztett kötés létrehozására. Figyelembe veendő tényezők: Fémek tulajdonságai (Kémiai összetétel., Hőkezelési állapot, Előzetes alakítási állapot), Hegesztéstechnológia (Hegesztő eljárás és paraméterei. Hozaganyagok. Hegesztési munkarend.), Alkalmazás jelentős körülményei: (Keresztmetszet változások. Anyagvastagság. Varratelhelyezés, varratalak.). Üzemi körülmények: (Igénybevétel módja. Hőmérséklet tartományok. Korrozíós igénybevétel).

A hegesztett kötések rendeltetésszerű használata megköveteli a meghatározott mechanikai értékek biztosítását, repedésmentességét. A fenti tényezők biztosításához ismerni kell a hegesztési varrat környezetében kialakuló hőhatásövezeteket és szövetszerkezeti tulajdonságokat.

5.5.1 Szerkezeti acélok hegeszthetőségi tulajdonságai

A szerkezeti acélok maximum 0,6% szénet tartalmaznak. Fő ötvözők szén (C), szilícium (Si), mangán (Mn), kén (S), foszfor (P). Amennyiben az alapanyag nem csillapított, az acélt nagy mangán tartalmú hozaganyaggal hegesztjük. Az ilyen acélok alárendelt célokra használhatók. A csillapított acélban a Mn kívül Si is van, és az oxigén FeO helyett

SiO₂ formában van lekötvve, és nem jön létre CO-gáz. A fémfürdőben a szennyezők eloszlása egyenletes.

Ötvözetlen és ötvözött acélok hegeszthetőségi tulajdonságai

Sokszor előfordul, hogy a gyakorlatban a hegesztett szerkezetnek nem kell különösebb követelményt, dinamikus erőhatást, korrózió és hőigénybe vételt kielégíteni, ezért az alapanyag ötvözetlen szerkezeti acél, ami jól hegeszthető. Az S jelű szerkezeti acélok C-tartalma maximum 0,2%, a nagyobb szilárdságú acélok Si-tartalma max. 0,55%, és így a szerkezeti acélok C-tartalma nem haladja meg az edződés alsó határát a 0,2%-ot, a karbonegyenérték (CE) a 0,45%-ot, ezért hegesztéskor a gyorsabb lehűlésből származó repedési veszéllyel nem kell számolni. Nagyobb szelvény vastagságú acélok tompavarratainál 12 mm felett célszerű 100-150 °C-ra előmelegíteni. A kritikusanál gyorsabb hűtés az alábbiakban felsorolt veszélyes edződést eredményezhet: Amennyiben a C > 0,25%, akkor már normál hegesztési feltételek esetén is célszerű melegítést alkalmazni a lehűlési sebesség csökkentése céljából.

Acél- és vasöntvények hegesztései tulajdonságai

Acélöntvények hegesztése. Az ötvözetlen acélöntvények C-tartalma 0,1-0,6%. A kisebb C-tartalmú acélöntvények jól hegeszthetők, 0,25% C-tartalom felett esetenként igénylik az előmelegítést (bonyolult alakú, változó keresztmetszetű vagy 25 mm-nél vastagabb falú Öntvény). Az ötvözött acélöntvények hegesztésénél általában azokat a követelményeket kell szem előtt tartani, mint az azonos vagy hasonló összetételű acélokra.

Vasöntvények hegesztése. Az öntöttvas 2,14 %-nál több korbont, ezen kívül kísérő elemeket, szennyező és nyomelemeket is tartalmazó, többalkotós vas-karbon alapú ötvözet. Szürkevas öntvények hidegen végzett (előmelegítés nélkül) végzett hegesztéskor a lehető legkisebb hőbevitelre és erős hőkoncentrációra kell törekedni, hogy a hőhatásövezet minél kisebb legyen. Ívhegesztéskor nikkelt (Ni) ötvözésű elektródák alkalmazása a legcélszerűbb, mivel nagy képlékenységűek, és így a hegesztés során fellépő feszültségeket alakváltozással ki tudja egyenlíteni, így az alapanyagban repedés nem keletkezik. Öntöttvas elektródák használata nem megengedett, mivel lehűléskor a karbon rideg cementit, illetve martenzit formájában lesz jelen. A hegesztést kis hőbevitellel, az elektróda ívelése nélkül egy lépésben, keskeny és rövid, 30-50 mm-es varratszakaszok lerakásával kell végezni. Meleghegesztéshez az öntvényt elő kell melegíteni. Vékony falú, kevésbé bonyolult öntvények előmelegítési hőmérséklete 200-300 °C, bonyolultabb, nagyobb méretűeké 600 °C (lemezgrafitos öntöttvasak), illetve 300-550 °C (gömbgrafitos öntöttvasakhoz a Mg kiegészi veszélye miatt). Félmeleg hegesztés vékony falú, kevésbé bonyolult, ilyen szempontból kedvező helyen megjelenő hibák javítására alakult ki. Előmelegíteni csak a szükséges helyzetben, esetenként szilárdsági okokból (200...350 °C-nál nem magasabb hőmérsékletre) szabad. A munkadarab alakváltozását nem szabad akadályozni. A hevítés és a hegesztés után lassú hűtéséről mindig gondoskodni kell. Az előmelegítés hőmérsékletét a hegesztés ideje alatt fenn kell tartani. A repedések végeit furattal le kell zárni, hogy a repedések ne terjedjenek tovább. A hőbevitel és hőelvonás sebessége 20-30 °C/h-nál nagyobb nem lehet.

6 GÉPALKATRÉSZEK FELÚJÍTÁSA TERMIKUS SZÓRÁSI (FÉMSZÓRÁSI) ELJÁRÁSOKKAL

A termikus szórás eljárás igen nagy múltra tekint vissza. Az alkatrészek kopása felületi rétegük fizikai, kémiai tulajdonságaitól függ. Keresztmetszetük nagyobbik része csak a külső terhelés hordozásában, illetve továbbbitásában vesz részt. A gyakorlat is igazolta, hogy egy homogén összetételű és tulajdonságú anyag szilárdságtani és kopási szempontból csak ritkán nyújt optimális megoldást, és ezért fejlesztették ki a különböző felületkezelési, bevonási eljárásokat, melyekkel a gépalkatrészek élettartamát akár a többszörösére lehet növelni [1] [4].

6.1 A termikus szórás (fémszórás) eljárások és jellemző

A szórás eljárások a felvitt régek jellege alapján két nagy csoportra osztható:

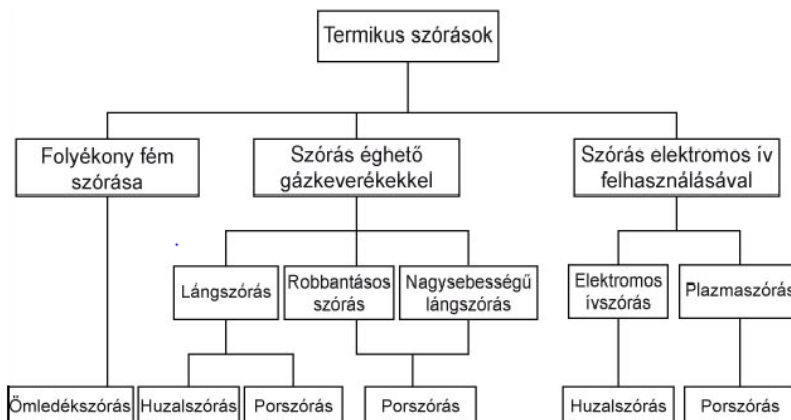
- Utóhevítés nélküli ún. „hidegszórás”, melynél az olvadási hőmérsékletre hevített és a felületre juttatott szemcsék nem lépnek egymással és az alapanyaggal kohéziós kapcsolatba (nincs beolvasztás) a felvitt réteg porózus szerkezetű, a felvitel során az alapanyag max. 150-200°C-os hőmérsékletet ér el.
- Utóhevítéses ún. „melegszozás”, amikor a felszozt réteget a szórással egyidejűleg vagy azt követően megolvasztják így tömör, öntött szerkezetű lesz. A szóráshoz használt ötvözetek olvadási hőmérséklete 900-1200°C közé esik, az alapanyag felmelegedése elérheti a 800-900°C-ot. Ezen a hőmérsékleten már jelentős szövetszerkezeti változások mehetnek végbe az alapanyagban, megváltoztatva az előző hőkezelések hatását, másrészt a belső feszültségek oldódása, az egyenlőtlen melegedés és lehülés miatt elhúzódasok jöhetnek létre. A magas hőmérséklet és a viszonylag hosszú hõntartási idő lehetővé teszi, hogy az adhéziós-mechanikus kötődés az alapfémhez diffúzióssá váljon. Ebben fontos szerepet játszanak a kis atomméretű, diffúzióképes ötvözök, mint a szén, szilícium, bór stb.

A termikus szórás eljárásokat szokás a felhasznált hőforrás és a szórt anyag jellege szerint is csoportosítani. Egy ilyen lehetséges felosztást mutat a 6.1 ábra.

A termikus szórás eljárások alkalmazási területeire vonatkozóan nagyszámú gyakorlati tapasztalat áll rendelkezésre. Ezek értékelésénél mindig figyelembe kell venni a terhelés jellegét, nagyságát és az alkalmazott szórás eljárást.

Főbb alkalmazási területek:

- kopott felület feltöltése névleges méretre,
- súrlódás és kopás csökkentése,
- korrózióvédelem,
- dekoráció stb.



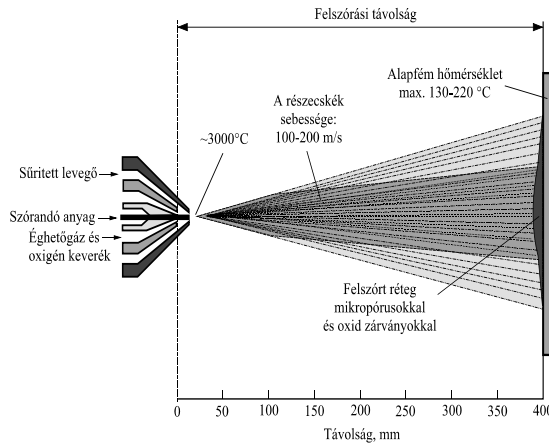
6.1. ábra: Termikus szórások csoportosítása [7]

A lánggal végzett felszórási eljárás alkalmazása során a felszóró készülékbe (pisztoly, égő, stb.) bevezetett anyag (huzal, pálcá, por) megolvad vagy képlékennyé válik és a lángon áthaladva a munkadarab felületének ütközve összefüggő réteg alakul ki. A szóróanyag (pálcá, huzal, por, stb.) leválasztását vagy a részecskékre bontását és azok kinetikai energiájának megnövelését valamilyen gyorsító gázzal – általában sűrített levegővel – segítik elő (6.2 ábra, 6.3 ábra), a hőenergia forrása a gázláng, amely oxigén–éghető gáz (acetilén, földgáz, propán-bután, hidrogén, stb.) elegyének égésekor keletkezik.

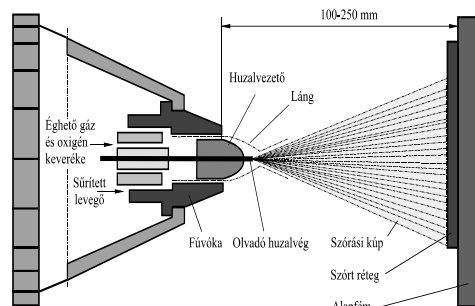
A szóróanyagot a láng emelt hőmérsékletű zónájába (magjába) por, rúd vagy huzal alakban adagolják. A lángfelszórás területén sikeresen alkalmazzák a polimer bevonatú, porral feltöltött hajlékony zsinórok, por töltőanyagos fémhuzalok valamint max. 10 µm frakciójú, finom diszperziós porok intenzív felhasználását.

6.1.1 *Utóhevítés nélküli lángporszórás (hideg fém-porszórás)*

Az acélhuzal elektródát különleges összetételű ötvözetpor helyettesíti. A finom gömbszemcsés fémpor erre a célra kialakított szórókészülékkel visszük fel a feltöltendő felületre. A szórópisztoly a gázhegesztésnél alkalmazott oxigén-acetilén gáztelephez csatlakozik. A portartályból az ötvözetpor – az adagolószelep megnyitása



6.2. ábra: Termikus szórás lánggal [5]



6.3. ábra: Huzal szórása lánggal [5]

után – a gázlángba jut, ahol a hőhatástól képlékenyvé válik, a gáznyomástól felgyorsulva az alapfém felületére csapódik és ott megtapad. A műveletet – hengeres palást feltöltésekor – az alkatrész egyenletes forgatása közben kell végrehajtani. A feltöltés során porózus bevonat keletkezik, amely mechanikus és adhéziós kötással tapad az alapanyaghoz. Megfelelő rétegvastagság elérése után a feltöltött palástot kész méretre munkáljuk.

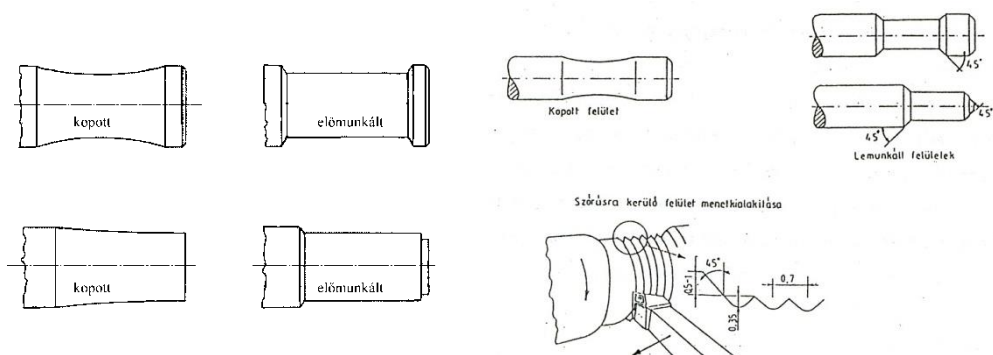
Az utóhevítés nélküli (hideg) lángporszórás műveletei

A technológia főbb műveletei a következők:

- az alkatrész előkészítése,
- a feltöltendő palást előmunkálása,
- alapozópor felszórása,
- töltőpor felszórása,
- készre munkálás,
- minőség-ellenőrzés.

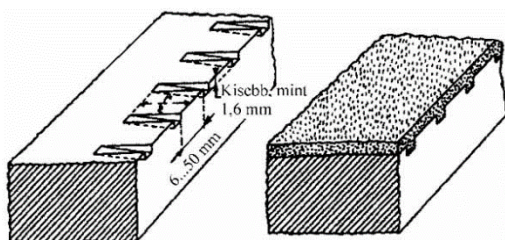
A felületek előkészítésénél az alábbi szabályokat kell figyelembe venni:

A szóráshoz fémtiszta, nyers felületre van szükség. Ez úgy biztosítható, hogy szórás előtt max. 8 - 10 órával a felső réteget forgácsolással el kell távolítani. Az előkészített felületet tiszta ruhával, papírral stb. le kell fedni, nehogy a légtérből olajpára csapódjon le a felületen. A lemunkált méretet úgy kell meghatározni, hogy készre munkálás után, számításba véve a megengedett kopást, a szórt anyagra előírt minimális rétegvastagság biztosítva legyen. A felszört réteg szélei ne álljanak szabadon. Az alámunkálásnál a csapfelület szabadon álló pereménél 1 - 1,5 mm széles vállat kell hagyni, vagy a szórt felületet a homlokfelületen kell lezárni (10. 4 ábra). Az alámunkálás szélein 90°-os vagy az előbbi ábrán látható 45° - 60°-os letörést javasolt alkalmazni.

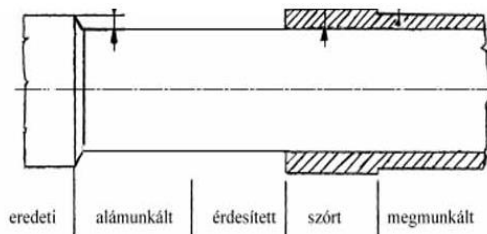


6.4. ábra: Tengely előkészítés [1]

Sík felületeknél gondoskodni kell a szélek lehorgonyzásáról bevágások és/vagy menetes csapok segítségével. A lemunkált méretet úgy kell meghatározni, hogy készre munkálás után, számításba véve a megengedett kopást, a szórt anyagra előírt minimális rétegvastagság biztosítva legyen (6.5 ábra). A minimális rétegvastagság értéke szoros illesztésű felületeknél, ha csak alapozó anyagot használunk, nincs előírva (6.6 ábra).

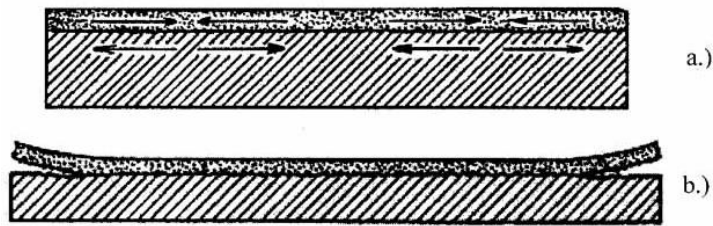


6.5. ábra: Sík felületek[7]



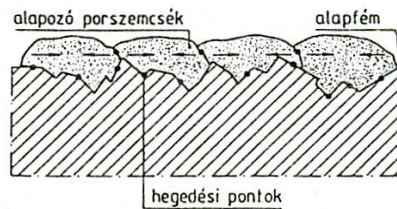
6.6. ábra: Szórt alkatrész minimális rétegvastagsága[7]

A szórt felület érdesítése azért fontos mivel a szórt réteg kötése az alapanyaghoz alapvetően adhéziós és mechanikus, a felület érdesítésével a kötőszilárdságot jelentősen növelni lehet. Erre olyan helyeken van elsősorban szükség, ahol a szórt réteg belső feszültsége és az üzemi terhelés vagy a megmunkálás során fellépő erők a réteg leválását okozhatják. Ilyen helyek a szórt felület szélei, reteszhornyok, furatok környezete. Mivel a szórt felület és a felszórt szemcsék, illetve réteg hőmérséklete jelentősen eltér egymástól, a lehülő réteg zsugorodása jelentős maradó húzófeszültséget hoz létre, amely a széleken leváláshoz vezethet, leválás elkerülésére a felületet érdesíteni kell (6.7 ábra)



6.7. ábra: Szórt alkatrész minimális rétegvastagsága [7]

A lángpor szórásnál (hidegtechnológia) a feltöltési művelet első fázisaként minden esetben egy alapozóréteg felvitele szükséges, amely az alapanyaghoz való jó tapadást biztosítja. Ehhez speciális ötvözetporokat (Ni-Al ötvözeteket) fejlesztettek ki. E porok jellemző tulajdonsága, hogy kémiai összetételüknél fogva ún. exoterm reakcióra hajlamosak. Ez azt jelenti, hogy szórásnál a pisztoly lángja termikus folyamatot indít el a por alapanyagában. Egy-egy részecske 1500-2500°C hőmérsékletre is felhevül, így hegedési pontok alakulnak ki az érintkező felületen, ami biztosítja az alapfémhez való igen jó kötést.



6.8. ábra: Az alapozóréteg tapadása az alapfémhez [1]

A 6.8 ábra az alapozóréteg kötési módját szemlélteti, ahol fontos szerepe van a felületi érdességnek, a hűlés során a bevonatban ébredő belső feszültségnek és a termikus reakció következtében létrejövő mikrohegedéseknek. Az alapozóporral 0,05-0,1mm vastag bevonat felszórása elégséges. E réteg kizárólag a kötésszilárdságot biztosítja, tehát más jellegű igénybevételre nem alkalmas, csak megfelelő ötvözetporral felszórt fedő réteggel együtt. Az alapozóréteget felvitele után folyamatosan, ugyanazzal a befogással és technológiai adatokkal hajtsuk végre a fedőréteg feltöltését a szükséges vastagság eléréséig. A szórópisztolyt merőlegesen irányítsuk a munkadarab középvonalára. A pisztoly vezetésével törekedni kell az egyenletes réteg kialakítására. Hosszú palástok feltöltésekor egyenletesebb réteget kapunk, ha a szórópisztolyt automatikus eltolással vezetjük (pl. a késtartóba befogva). Ilyenkor a pisztoly tengelyirányú eltolása 7-8mm/ford. legyen. Nem célszerű a felöltést folyamatosan, a pisztoly oda-vissza való mozgatásával végezni. Egy réteg felszórása után a műveletet meg kell szakítani és a felszórást a munkadarab másik, lehűlt végétől újakezdeni. A szórási művelet során rendkívül fontos a következő előírások betartása:

- A maximális hőmérséklet 200°C, amelynél nem szabad túlhevíteni az alkatrészt, nagyobb felmelegítés esetén a réteg leválik az alapanyagról.

- Ha vastagabb réteg feltöltésre van szükség (pl. 1-2mm), a szórás időnkénti megszakításával engedjük visszahúlni a munkadarabot. Gyakorlatilag tehát a porszórást 50-200°C hőhatárok között kell elvégezni.
- A hőmérséklet mérésére tapintóhőmérő, jelzőkréta vagy jelzőfesték alkalmazható.
- A feltöltést kisebb-nagyobb megszakításokkal addig kell folytatni, amíg a szükséges rétegvastagság ki nem alakul. Forgácsolási ráhagyásra 0,2-0,3mm vastag réteget (átmérőben 0,4-0,6 mm-t) számítsunk. A feltölthető rétegvastagság felső határa 1,5-2,0mm A szórt réteg kialakításában szerepe van a szemcsék becsapódási sűrűségének, a szórás szögének(α).

A termikus szórással növelt illeszkedő felületeket csaknem minden esetben forgácsolással kell a szükséges méretre munkálni. Forgástestek esetében az esztergályozás vagy köszörülés vehető számításba. Ha az igénybevétel megengedi, könnyen esztergálható, lágyabb réteggel töltjük fel az alkatrészt, így a megmunkálás gazdaságosabb, és köszörűgép hiányában is jó eredménnyel végrehajtható. Megmunkálás esztergályozással és köszörüléssel történhet főleg kemény réteggel

Az utóhevítés nélküli „hideg” szórással felvitt rétegek előnyei a következőkben foglalhatók össze:

- A porok nagy részarányban tartalmaznak nemes ötvözőelemeket (Cr, Ni, W, Mo, Cu, Al), így a felvitt réteg korrózióálló, igen jó a siklási és kenési tulajdonsága.
- A portípusok megválasztásával tetszés szerinti lágy vagy kemény kopásálló réteg állítható elő, így a feltöltéssel gyakran helyettesíthetők egyes felületkezelési és felületvédelmi eljárások (pl. a kéregedés, krómozás, kadmiumozás, horganyzás stb.).
- A szórásnál nincs szigorúan körülhatárolt hőintervallum, gyakorlatilag a műveletet 80-200°C határok között végzik, ami megkönnyíti a technológia helyes kivitelezését.
- Az alkatrész tömege és mérete nem korlátozza a technológia alkalmazását.
- Az alapanyag csak 200°C-ig melegszik fel, így nem lép fel szövetszerkezeti elváltozás és szilárdságcsökkenés.

Nem alkalmazható azonban a hidegszórás a következő esetekben:

- Dinamikus igénybevételű felületen, pl. forgattyúcsap, vezérlőbütyök, stb. feltöltésére.
- Koncentrált pont- vagy vonalszerű felületi terhelés esetén, pl. tügörgős csapágy alatti paláston.
- Nagy hőhatásnak kitett helyeken, pl. turbókompresszor-tengelyen, szeleptányéron stb.

A kizáró tényezők az alkatrészeknek csak egy szűk körét érintik, az esetek 80-85%-ában a hidegszórászt részesítik előnybe a melegtechnológiával szemben.

A szórt réteg jellemzői, alkalmazási területek

A termikus szórásokkal létrehozott rétegek porózus szerkezetűek. A szemcsék kötődése az alapfémhez és egymáshoz döntően mechanikus és adhéziós. Egyes fémek, illetve ötvözetek, pl. alapozók szórásánál pontszerű kohéziós hidak is létrejöhetnek. A réteg jellemzője alapvetően meghatározza a szóba jöhető alkalmazási területeket és terheléseket. A koncentrált pont- és vonal menti terhelést nem képesek elviselni. Ebből adódóan fő alkalmazási területeik:

- tengelycsapok, csapágyfészkek kopott, berágódott, felfekvő felületeinek feltöltése (gördülőcsapágy gyűrűk felfekvő felületei, agy-tengely kötések érintkező felületei);
- súrlódó felületek védelme, illetve kopás esetén felújítása (hidraulika munkahengerek dugattyúi, dugattyúszárai, siklócsapágyazások, szálcsevélő dobok, papíripari, nyomdai hengerek stb.);
- kavitációs, eróziós kopás csökkentése, kopott alkatrészek javítása (szivattyúházak, turbinalapátok, fűvókák stb.);
- elektromágneses árnyékolás (műszerházak);
- korrózióvédelem (vasszerkezetek, hidak, földalatti tartályok, hajótestek stb.);
- saválló réteg felvitele (vegyipari, élelmiszeripari berendezések, tartályok);
- dekoráció.

A porózus szerkezet siklócsapágyazásoknál előny, mivel a pórusok kenőanyagot fogadnak be, kenéskimaradás esetén bizonyos ideig képesek a kopást csökkenteni, a berágódást megakadályozni. Gyakorlati tapasztalat, hogy a szórással előállított csapágyfelületek kopásállóbbak, mint az ugyanolyan összetételű öntött kivitelűek. Ez feltehetően a porózus szerkezetnek és a nagy fénoxidtartalomnak tulajdonítható. A szórással felvihető rétegvastagság egy-két tized millimétertől több milliméterig terjed. Fémek szórásánál a felső határ gyakorlatilag 2 - 3 mm. Ennél vastagabb rétegek előállítására a költségek és a réteg repedésének, leválásának növekvő veszélye miatt, többnyire nem kerül sor. Nagy előnye a technológiának, hogy a szórási folyamat a munkadarab hőmérséklete alacsony értéken (max. 260°C) tartható. Szövetszerkezeti változás nem következhet be és az elhúzóerő, deformáció mértéke is elhanyagolható. Ez lehetővé teszi pl. főtengelycsapok, illetve vezérműtengely csapágyhelyek feltöltését, utólagos egyengetés nélkül [8]

6.1.2 Utóhevítéses lángporszórás (meleg fémporszórás)

Az utóhevítés nélküli lángporszóráshoz (hideg fémporszóráshoz) hasonló, de a műszaki jellemzők tekintetében attól teljesen eltérő feltöltési eljárásoknak tekinthető a „meleg” fémporszórás. E technológia alapvetően abban különbözik a hidegszórástól, hogy itt a művelet sor kiegészül a réteg beolvasztásával. Ez azt jelenti, hogy szóráskor kialakuló réteget intenzív felmelegítéssel 950-1000°C-on megolvasztjuk, porozitása megszűnik, és összefüggő tömör bevonatként tapad az alapanyagra. Fontos jellemzője a feltöltőpornak,

hogy olvadáspontjuk 300-400°C-kal alacsonyabb az acélok és vasöntvények olvadáspontjánál, így a réteg beolvasztásakor az alapanyag nem olvad meg, a felületen keletkező ömledék tehát nem keveredik az alapfémekkel. A melegsórúhoz kifejlesztett ötvözetporok jelentős arányban tartalmaznak B és Si ötvözőket. E két elem diffúziós képessége igen nagy, ezért ömlesztéskor a részecskék átlépik az alapanyag határfelületét, abba bediffundálnak. E folyamat eredményeként a korábbi mechanikus tapadás diffúziós kötődéssé alakul át. A diffúziós kötődéssel tapadó réteg sem statikus, sem dinamikus igénybevétellel nem választható le az alapfémről. A portípustól függően a feltöltött réteg keménysége 18-65 HRC értékek között változhat. A felöltőporok nagy választéka lehetővé teszi a technológia széles körű alkalmazását mind forgástestek, mind pedig sík vagy alakos felületek feltöltésére.

Termikusan szórt tömör bevonat készítésének műveletei:

- A szórandó felület előkészítése, zsírtalanítása, munkadarab előmelegítés
- Por felszórása, megolvasztása
- A réteg megmunkálása
- A szórandó felület előkészítése, zsírtalanítása, előmelegítés

Előírt minimális rétegvastagság nincs, akár 0,01 - 0,1 mm is felvihető. A terhelhetőség és a megengedett kopás miatt gyakorlatilag tized milliméternél vékonyabb réteget nem alkalmaznak. Kopott felületek javításánál az alakhelyesre forgácsolás után kopási, berágódási nyomok nem maradhatnak. Törekedni kell az egyenletes rétegvastagság elérésére. A szennyeződésre a „hideg” szórásokhoz képest kevésbé érzékeny, de a felületnek itt is fémtisztának kell lennie. Forgácsolás előtt elegendő a durva zsírtalanítás. Ha szükséges, a mélyedésekből, sarkokból a zsíros, olajos szennyeződéseket 300 - 400° C-ra történő melegítéssel kell eltávolítani. Felületdurvításra nincs szükség, a nagyoló esztergálással lemunkált felület megfelelő. Cementált alkatrész felületének előkészítésénél le kell munkálni a kéreg szénben dús felületi rétegét, amely a rétegvastagságnak mintegy 60-70%-a. Ellenkező esetben a feltöltés alatt a szenített kéreg feldurvul és rideggé válik.

Az előmelegítés hatása kettős. Egyrészt a folyékony szennyezőket elgőzölteti, másrészt csökkenti a zsugorodási különbségeket, ezzel a réteg repedési veszélyét. Az előmelegítés megengedett maximális értéke 400° C. E fölött az oxidréteg vastagsága gyorsan növekszik és a diffúzió akadályozása révén a réteg kötősszilárdságát jelentősen lerontja. Ha a felület tiszta, célszerű 200° C-os előmelegítés után egy vékony réteget felszórni, majd az előmelegítést ~ 400° C-ig folytatni.

Por felszórása, megolvasztása

Egy lépésben a réteg megfolyásának veszélye miatt, csak egy-két tizedmillimétert célszerű felszórni. A szükséges rétegvastagság meghatározásánál figyelembe kell venni, hogy a réteg vastagsága olvasztás után 30 - 40%-kal csökken. A szórással és olvasztással történhet ciklikusan mindaddig, amíg a teljes felület elkészül, vagy egymás után két lépésben. Ez utóbbi esetben a teljes felületet felszórjuk, majd ezt követően megolvasztjuk. Ha nagyobb rétegvastagságra van szükség, a szórással és olvasztással végzett műveleteit meg kell ismételni. Az alkalmazott ötvözetek hőközben olvadnak/dermednek. A feltöltött

réteg tulajdonságai a következőkben foglalhatók össze: A réteg diffúziós kötással tapad az alapanyagra, így a kötési szilárdság egyenértékűnek tekinthető a hegesztett varratéval.

A réteg keménysége a portól függően 18-65 HRC lehet mindennemű hőkezelés nélkül. Így lehetőség van az edzett, cementált felület helyreállítására, ill. egyenértékű helyettesítésére.

Az előbbi tulajdonságokból következik, hogy a feltöltött réteg igen jól ellenáll a dinamikus, koptató igénybevételnek, valamint a koncentrált felületi nyomásnak, így a technológia lehetőséget nyújt a vezérlőbütyök, forgattyúcsap, tűgörgős csapágyhelyek, stb. helyreállítására.

A fémporok magas részarányban tartalmaznak nemes ötvözőket, ennek következtében a felvitt réteg korrózióálló, nincs szükség felületvédelemre korrózióaktív közegben sem.

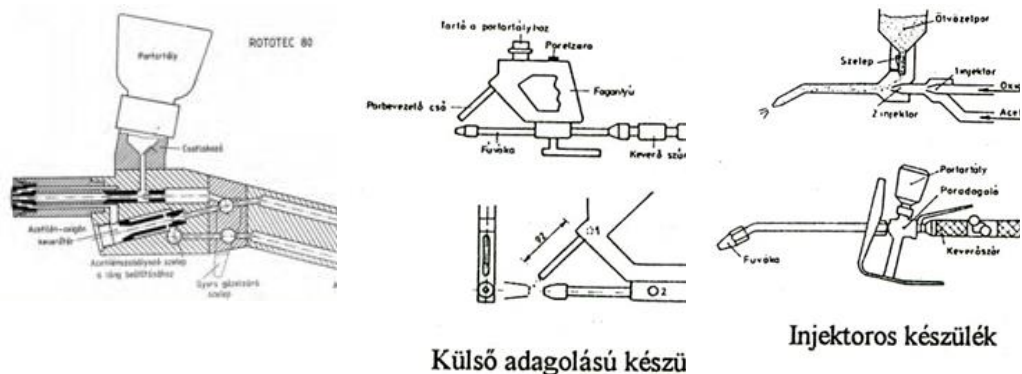
Külön prototípusok vannak a nagy hőigénybevételű helyek feltöltésére, pl. szeleptányér, turbófeltöltő tengelye stb. felújításához.

A meleg fémporszórás korlátai:

Nagyméretű és tömegű forgástesteken problémát jelent a réteg beolvasztása az intenzív hőelvezetés miatt. Ezért csak max. 35-40mm átmérőjű tengelyek újíthatók fel gazdaságosan.

Beolvasztáskor a nagy hőhatás következtében szövetszerkezeti változás ill. szilárdságcsökkenés állhat elő az alapanyagban. Felújításkor tehát figyelembe kell venni az alkatrész igénybevételét, funkcióját, továbbá a biztonságtechnikai követelményeket is.

A lángporszóráshoz – tehát a hideg fémporszóráshoz – a külső adagolású szórópisztolyokat használhatjuk, míg a meleg fémporszórás az injektoros (belső adagolású) készülékkel valósítható meg (6.9 ábra).



6.9. ábra: Különböző szórópisztoly kialakítások [1;4]

A réteg megmunkálása

Az alkalmazott szóróanyagok keménysége 18 - 65 HRC között változik. Gyakori, hogy a kemény vegyületkristályok lágy ausztenites ágyazó rétegben (mátrixban) helyezkednek

el, így biztosítva a réteg szívósságát és keménységét. A megmunkálás a keménységtől és a megkívánt felületminőségtől függően történhet esztergálással és/vagy köszörüléssel. A kész felületen repedés, elszíneződés, porozitás nem lehet.

7 NEMFÉMES ANYAGOK KÖTÉSI TECHNIKÁI

A ragasztás több ezeréves, de igazi sikert csak a szintetikus polimerek megjelenését követően ért el. Ma az élet minden területén találkozunk ragasztott tárgyakkal, napjainkra a ragasztás sok területen nélkülözhetetlen technológiai műveletté vált.

A ragasztás az anyaggal záró nem oldható (korlátozottan oldható) kötések csoportjába sorolható. A ragasztás legnagyobb előnye a forrasztáshoz és a hegesztéshez képest, hogy nem éri hőterhelés a munkadarabot. A ragasztóanyag a kötésben rezgéscsillapító, jól szigetelő, zajcsökkentő hatásokat fejt ki, ezzel szemben viszonylag kicsi a terhelhetősége, és nagy technológiai körütekintést igényel.

7.1 A ragasztás elmélete

A ragasztástechnika sikeres alkalmazásának feltétele a ragasztott kötések ismerete. Egy ragasztott kötés szakadásának leggyakoribb oka nemcsak a ragasztó túlságosan alacsony szilárdsága, hanem a ragasztandó felületek nem megfelelő előkészítése, vagy tájékozatlanság, illetve felületesség a megfelelő ragasztó kiválasztásánál. A ragasztást végző emberekben a következő kérdések merülhetnek fel:

- Miért, mitől ragadnak a ragasztók?
- Mi kell ahhoz, hogy egy anyag ragasztóként használható legyen?
- Melyek a különböző anyagok ragaszthatásához optimálisan használható ragasztóanyag kritériumai?

E kérdések megválaszolására számos elmélet született: mint például a diffúziós-, az abszorpciós-, a mechanikai- és kémiai adhézió, illetve az elektromos-, elektrosztatikus kölcsönhatások elmélete. A gyakorlatban felmerülő sokféle ragasztandó anyag (szubsztrátum) között kialakuló kölcsönhatások magyarázatára azonban önállóan egyik elmélet sem ad megfelelő választ. A különböző kölcsönhatások aránya a szubsztrátumok és ragasztó anyagpáronként rendkívül változó, így a legcélszerűbb megoldás a ragasztókötés magyarázatára a meglévő elméletek egységes rendszerbe történő integrálása. A ragasztóanyagok olyan nemfém anyagok, amelyek a szilárd anyagok felületét tapadással és saját szilárdságukkal kötik össze anélkül, hogy az összekötött anyagok eredeti tulajdonsága, szerkezeti felépítése lényegesen megváltozna. Ha az anyagok, anyaghalmazok összekötése ragasztással három dimenzióban történik (pl. farostlemez), akkor kötőanyagokról beszélünk. Tágabb értelemben a ragasztók közé sorolhatók az elasztikus tömítőanyagok is, noha ezek elsősorban az egymáshoz illesztett rideg, esetleg törékeny (pl. fém-üveg) anyagok közötti hézagok kitöltésére szolgálnak, ugyanakkor ragadnak is az anyagokhoz és elasztikus kötést biztosítanak.

A jó ragasztókötés-szilárdság kialakulásának alapvető feltétele:

1. a ragasztandó anyag felület ragasztóanyag általi nedvesítése. Ennek előfeltételei:

- a ragasztandó anyag és a ragasztóanyag megfelelő felületi energia viszonyainak megválasztása, ill. kialakítása,

- a ragasztó folyékony halmazállapota.

2. a nedvesítést követően a ragasztandó anyag-ragasztó között kialakuló kölcsönhatások rögzítése, vagyis a kötésszilárdítás

A ragasztott kötéseket azonos, vagy különböző anyagok, fémek és nemfémek kötésére használjuk.

7.2 A ragasztott és rögzítőszeres kötés előnyei, hátrányai

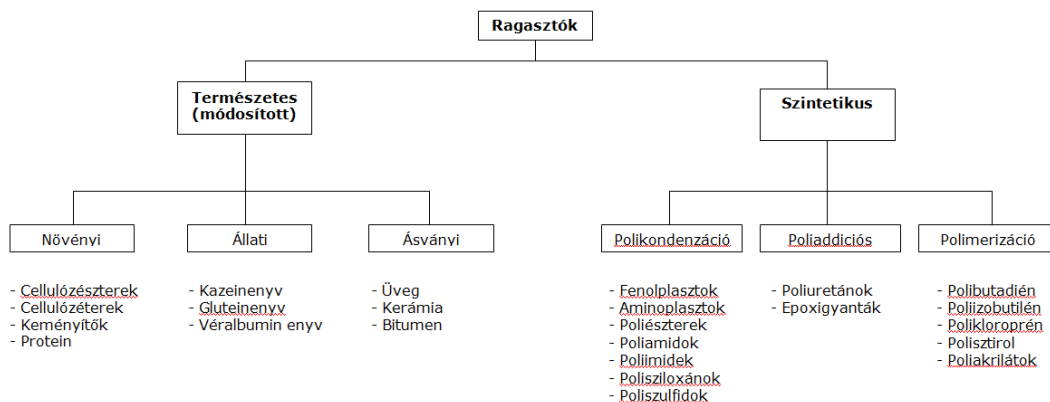
Előnyei a következők:

- különböző anyagok kötése valósítható meg, fém-, műanyag, kerámia, bőr, fa, üveg azaz szinte minden technikai felhasználású anyag kötéséhez, ezek bármelyikének bármelyikhez való kötésére.
- kisebb súly jön létre,
- egyenletes feszültségeloszlás a kötésben,
- rezgéscsillapító hatás,
- a kötésben levő alkatrészeket nem kell gyengíteni, (furat, horony, stb.),
- illeszkedő alkatrészek tűrése kevésbé szigorú,
- nem szükséges finoman megmunkált felület,
- nagy felületű alkatrészek is jól köthetők,
- a kötések szobahőmérsékleten vagy max. 200°C-os hőmérsékleten létrehozhatók,
- az érintkezési korrózió megakadályozható,
- cseppfolyós és légnemű közegek esetén a kötés megfelelően tömit,
- kis beruházási és megmunkálási költség.

Hátrányai az alábbiak:

- egyes esetekben a ragasztási vagy rögzítési technológiának megfelelő szerkezetei kialakítás szükséges,
- a kötésben résztvevő felületeket előkezelni kell (felület tisztítás, mechanikai, kémiai előkezelés),
- a kikeményedés (térhálósodás) során esetleg nyomást vagy melegítést kell alkalmazni,
- magasabb hőmérsékleten a kötés szilárdsága csökken,
- esetenként a kikeményedési (térhálósodási) idő hosszú, akár 24 órát is tarthat,
- öregedésre hajlamos, érzékeny az ultraviola sugárzásra, a levegő oxidációjára.

A ragasztó anyagok széles választéka áll rendelkezésre a kereskedelmi forgalomban (7.1 ábra). A ragasztóanyagok azok a nemfemes anyagok, amelyek szilárd anyagok felületét tapadással és saját szilárdságukkal köti össze anélkül, hogy az összekötött anyagok szerkezeti felépítése vagy eredeti tulajdonságai lényegesen megváltoznának.



7.1. ábra: Ragasztóanyagok csoportosítása [1]

A jelenlegi választék két nagy csoportba sorolható:

1. A fizikai hatással működő ragasztóknál a ragasztóréteg az anyagban lévő oldószer elpárolgása útján keményedik ki eredeti folyadék-, vagy zselatin szerű állapotából. A hőre lágyuló ragasztóréteg terhelés alatt kúszási tulajdonságot mutat. Ebből az anyagból rugalmas, jó ragasztóréteg alakul ki, mintegy

$$\tau_m = 5 - 10 \text{ N/mm}^2 \text{ nyírószilárdsággal.}$$

A csoportba sorolt ragasztók lehetnek:

- kontakt ragasztók, főleg oldott kaucsuk bázisú,
- olvasztott ragasztók, amelyeket megolvadt állapotban (általában 150-190 C°-on) kell felvinni, megszilárdulás előtt az alkatrészeket össze kell illeszteni.
- plastisolok, nincs oldószer, pasztaszerű állapotban visszük fel, és 150-200C hatására keményednek meg, ezek főleg finomra őrölt PVC bázisúak lágyítószembe feloldva. Képesek olajat és zsírt felvenni.

2. A kémiai hatással működő ragasztók kismolekulájú vegyületekből állnak és a kötés alatt nagy molekulájú vegyületekké alakulnak a ragasztó rétegben, vagyis egy térhálósodás útján keményednek ki. Létezik folyadék, paszta és film állapotú anyag, amely katalizátor, hőmérséklet növelés, levegő nedvességtartalma vagy oxigén elvonás hatására térhálósodik. A katalizátor egy idegen anyag, amely meggyorsítja a kémiai reakciót. A reakció típusától függően megkülönböztetünk:

- polimer ragasztóanyagokat, amelyeknél a kismolekulák összekapcsolódva alkotják a nagymolekulákat,

- poliaddíciós ragasztóanyagokat, amelyeknél két különböző kevert anyag molekulái egyesülnek,
- polikondenzációs ragasztóanyagok, amelyek molekulái leszakadt kilépő kismolekulák hatására egyesülnek nagy molekulákká. Ehhez 120 – 130 °C és 0,4–1 MPa nyomás szükséges.

A reaktív ragasztók megkülönböztethetők aszerint is, hogy egy- vagy kétkomponensű ragasztók-e. Kétkomponensű ragasztóknál vagy két műanyag paszta, amelyet felhasználás előtt össze kell keverni, vagy pedig egy műanyag paszta és egy kis mennyiségű anyag, a katalizátor.

A ragasztott kötések három csoportba soroljuk:

- kisszilárdságú kötések, nyírószilárdság: $\tau_m \leq 5 \text{ N/mm}^2$
- közepes szilárdságú kötések: $\tau_m = 5 - 10 \text{ N/mm}^2$
- nagyszilárdságú ragasztott kötések: $\tau_m \geq 10 \text{ N/mm}^2$

7.3 A ragasztott és rögzítőszeres kötések konstrukciós megfontolásai és tervezése

A ragasztott kötések szilárdságát és tartós ellenálló képességét elsősorban a következő paraméterek befolyásolják: [2]

A ragasztóanyag fizikai és kémiai tulajdonságai meghatározzák a ragasztott kötésekben a tapadó képességet és a belső szilárdságot. Gyakran a szerkezeti anyag fajtája és felületminősége az elsődleges szempont az optimális ragasztóanyag kiválasztásában vagy a ragasztási hézag nagyságának előírásában, de a szerkezeti elemek merevsége és mechanikai tulajdonságai is fontos kritériumai a legalkalmasabb ragasztóanyag és ragasztási technológia kiválasztásának.

A ragasztott kötés működési feltételei (hőmérséklet, vegyszerek/oldószeres, nedvesség stb.) közvetlenül befolyásolják a ragasztóanyag kiválasztását. A tartós ellenálló képesség vonatkozásában a működési feltételek és a ható erők jelentik a legfontosabb paramétereket.

A kiválasztott ragasztóanyag optimális alkalmazása szempontjából a ragasztási hézag kialakítását tekintjük a legfontosabb paraméternek. A kialakítást a ragasztóanyag korlátaihoz kell igazítani (pl. átkeményedés mélysége, hézagkitöltés stb.) és messzemenőig optimalizálni, a ragasztott kötés számára káros terheléseket (ütő és lefejtő igénybevétel) el kell kerülni.

7.4 Ragasztott kötések tervezése

Az optimális ragasztási hézag, a ragasztott kötés elemei kialakításának célja a homogén feszültségeloszlás elérése. Ezen túlmenően a ragasztott kötések tervezésekor bizonyos irányvonalakat szem előtt kell tartani:










- Az ütő és lefejtő igénybevételt a lehető legkisebbre kell csökkenteni.
- A ragasztási felületet a lehető legnagyobbra kell növelni.
- A járulékos igénybevételeket meg kell szüntetni.
- A feszültségeloszlást lehetőleg egyenletesre kell beállítani.

A ragasztott kötések igénybevétele lehet húzás, nyomás, nyírás, lefejtés, kinyitó hajlítás, gyakran ezek kombinációja. [5]

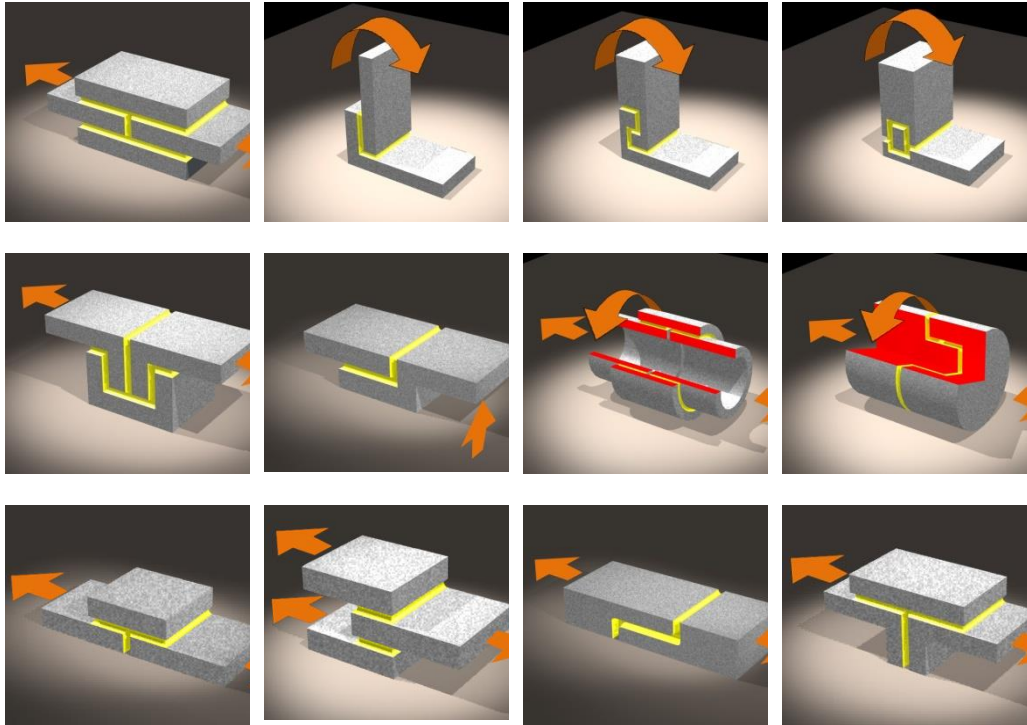
A kötés szilárdsága a legjobb nyírás és nyomás esetén, de lefejtés esetén nem a legjobb megoldás a ragasztás. A tervezésnél célszerű úgy kialakítani a ragasztott kötések, hogy elkerülhető legyen a lefejtés.

A 7.2 ábra ábrák bemutatják, hogy a gyakorlatban milyen kedvezőtlen és helyes megoldások alkalmazhatók. A megfelelő kialakítással egy ragasztott kötés szilárdsága akár nagyságrenddel is javítható. A ragasztott kötésre alkalmas illesztési megoldásokat a 7.1 táblázat tartalmazza.

7.1. táblázat: A ragasztott kötésre alkalmas illesztési megoldások [4]

Egyszerű átlapolásos kötés	Kettős átlapolásos kötés	Egyhevederes kötés
		
Alkalmazása a vékony szelvények esetében előnyös. Egyszerű konstrukció és jó szilárdsági tulajdonságok.	Nagyon jó illesztési szilárdság érhető el.	Gyakran használják sima felületek kialakítására különösebb előkészítő munka nélkül.
Kéthevederes kötés	Lapolt illesztés	Csavaró terhelés
		
Nagyobb szilárdságot biztosít, mint az egyhevederes kötés, de bonyolultabb. Ritkán alkalmazzák, mivel egyik látható homlokfelület sem sík.	Kitűnő szilárdságot biztosít, de kialakítása nagyon bonyolult, és csak vastagabb anyagok esetében alkalmazható.	A csavarásnak kitétt vékony falú csövek átlapolásos vagy hevederes kötése az érintett fémek szilárdságával azonos szilárdságot érhetnek el.
Tompaillesztés	Lépcsős átlapolt illesztés	Vállas kéthevederes tompaillesztés
		
Előnytelen a kis szilárdság miatt	Kedvezőtlen a költségek miatt.	Kedvezőtlen a költségek miatt.

Helyes kötéskialakításnál mindig az a cél, hogy a ragasztott zónára az eredő üzemi igénybevétel elsősorban nyíró hatást fejtson ki. A húzást, hajlítást, lefejtést kerülni kell megfelelő szerkezeti kialakításokkal.[5]



7.2. ábra: Helyes kötőmódok kialakítása [5]

A megfelelő szerkezeti kialakítás után lényeges szempont, a ragasztandó felületek anyagának ismeretében a ragasztó anyag és a ragasztási technológia kiválasztása és meghatározása. Napjainkban a műszaki műanyagok ragasztási technológiája jelentősen leegyszerűsödött az új, korszerűbb ragasztóanyagok kifejlesztésével. Ezekhez az anyagokhoz a gyártók mellékelik a felhasználás területeit és az alkalmazási technológiát, melyet célszerű betartani.

A ragasztott kötések kialakításánál az alábbi kulcsfontosságú szempontokat kell betartani:

- Az illesztendő felületek a maximális erőátviteli képesség érdekében a lehető legnagyobbak legyenek.
- A kötésre ható erőket a teljes ragasztási vonalon el kell oszlatni.

7.5 A ragasztandó munkadarabokra vonatkozó ismeretek

A jó ragasztás egyik feltétele a követelményeknek megfelelő ragasztó kiválasztása. Az első segítséget a ragasztócsoporthoz alapvető tulajdonságait tartalmazó információk adják, melyek alapján célszerű a ragasztóanyag specifikus tulajdonságait a vele szemben támasztott követelményekkel összevetni. Nincsenek sem „jó” sem „rossz” ragasztók. A felhasználás jellege alapján egyszer az egyik, máskor a másik az alkalmas, vagy kevésbé az.

Egy ragasztó kiválasztásához a ragasztandó darabok adataiból a következőket kell ismerni:

- Milyen anyagból vannak?
- Milyen nagyságúak, milyen alakúak?
- Milyenek a felületi adottságok?
- Mekkora az üzemi terhelések?
- Milyen környezeti feltételek uralkodnak? (hőmérséklet, nedvesség, agresszív közeg, stb.).
- Milyen ragasztásra van igény?
- Milyen gyártó berendezések állnak rendelkezésre? (hőkemencék, adagoló berendezések, stb.)
- Egyedi vagy sorozatgyártásban készül a termék?

7.6 A fémragasztás technológiája

A kötés szilárdságát leginkább befolyásoló adhézió erőssége leginkább a ragasztóanyag nedvesítő hatásától függ. Ez annál jobb, minél kisebb a folyadékfelszín érintője és a fémfelület által bezárt peremszög (δ) értéke (7.3 ábra).



7.3. ábra: A folyadékcseppek nedvesítési tulajdonsága [3]

A kötészilárdság nagymértékben függ a felület előkészítésétől is. Az érintkezés, illetve tapadóképesség annál jobb, minél síkabb és simább a felület. Érdes felületeknél az érintkezés az anyag kiemelkedő csúcsain jön létre. Ilyenkor a jobb tapadási viszonyokat a bemélyedések ragasztóanyaggal való kitöltésével lehet létrehozni. Nehézséget okoz viszont a bemélyedések kapillaritása és a ragasztó által ki nem szorított levegő nyomása. A mélyedés alakjának, valamint a peremszögnek ilyenkor döntő szerepe van.

A kapillaris nyomás akkor pozitív, ha $\varphi + \delta < 180^\circ$ ($\varphi >$ a mélyedés hajlásszöge), ekkor a felület nedvesedik, ha $\varphi + \delta > 180^\circ$ (a kapillarisnyomás negatív) nem következik be nedvesedés (11.6 ábra). Minél nagyobb a δ , annál kevésbé hatol be a ragasztó a felületi mélyedésekbe. Nyomás alatti kötéskor a levegő a mélyedésekből és pórusokból kiszorul.

A ragasztás a felületek előkészítésével kezdődik. A durva szennyeződések mechanikai úton kell eltávolítani, majd a kémiai zsírtalanítás következik. Az aktív felület szükség

esetén durvítással növelhető. A ragasztóréteg vastagságának növekedése a húzó-nyíró szilárdság csökkenéséhez vezet, ezért vékony, egyenletes réteg felhordására kell törekedni.

7.7 Alkalmazási területei a következők

Kötőelemeknél, amikor két vagy több szerkezeti elemet rögzítenek egymáshoz. Csavarok, anyák, csapszegek, tájolócsapok, tócsavarok, rögzítő-, illesztőszegek, ékek, reteszek jönnek számításba.

Perselyek, csapágyak ragasztása.

Forgó alkatrészek, tárcsák, fogaskerekek, járókerekek, rotorok tengelyre kötése,

Menetes, karimás, hengeres csőcsatlakozások, karmantyús toldások, idomok, elemek, különféle szerelvények ragasztása vízvezeték és központi fűtészerezésnél.

Egymásba illeszkedő síkfelületek tömítése hajtóművek, csapágyfedeleknél, zárófedeleknél.

Súrlódó tárcsák, tengelykapcsoló súrlódó betétek, fékbetétek ragasztása. Itt a hőtermelést célszerű figyelembe venni, ezért műanyagbetétek alkalmazása javasolt.

Szerszámgépeknél pl. csúszó vezetékek ragasztása.

Egyéb területek: kezelő karok műanyag fogantyúi, gépkocsik szerkezeti, alkatrészei, O-gyűrűk készítése, stb. Felsorolásként megemlíthető, hogy a fémiparon kívül számos más ipar, pl. vegyipar, a bőr-, a papír-, a ruha-, az építőipar – ezen belül a szak és szerelőipar – is jó eredménnyel használja fel a ragasztást. Nagy jelentősége van még a ragasztásnak és a rögzítésnek a finommechanika és az elektrotechnika területén is, ahol a felhasznált szerkezetek kis mérete, nagyfokú pontossága, az elemek miniatürizálása folyamatosan új lehetőséget teremt.

8 GÉPJAVÍTÁST MEGELŐZŐ HIBAFELVÉTEL

A gépek javítását megelőzően fontos, hogy megfelelő időben feltárjuk a meghibásodásokat, hibafelvételt végezzünk, amely alapján a javítási stratégia kidolgozható. Hallható hibajel lehet a gép rendellenes zöreje, az ütés- és kopásszerű hangok mind arra utalnak, hogy valamelyik alkatrész meglazult, elkopott vagy esetleg egy siklócsapágy bélésfém kiolvadt. A jellegzetes zörejek szabályos ismétlődésének üteméből lehet következtetni valamely forgó, lengő mozgást végző alkatrészcsoporthibájára. [4]

A karbantartó mérnök számára a hiba kezdeti állapota fontos, hogy elejét tudjuk venni a nagyobb géphibának. Nem hallható kisebb rezgések és elmozdulások vagy hőmérsékleteltérések tapintás útján felderíthetők, viszont a pontosabb hibafeltárás már gépi diagnosztikát igényel.

Az üzem közbeni hibafelismerést elősegítik a gépbe épített műszerek és külső DAQ adatgyűjtő egységek. Ezek azáltal, hogy jelzik a gép főbb működési paramétereit vagy a gép által végzett munka minőségjellemzőit, a hibamegállapítást is szolgálják. Az üzem közbeni hibamegállapítás eszközei közé sorolhatjuk az online diagnosztikai műszereket is, amelyek ipari alkalmazásai egyre fontosabbak. A következő fejezetben áttekintjük a legfontosabb hibafeltáró módszereket. [6]

8.1 FMEA a gépipari javítástechnológiában

Az FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) hibamód és hibahatás elemzése, hiba lehetőség és hibahatás elemzése a hibák hatásának jelentőségét segít meghatározni. Létezik a tervezési szakaszhoz rendelt ún. konstrukciós FMEA, illetve a folyamat vagy gyártási FMEA.

Az FMEA viszonylag kis szubjektivitást megengedő pontozásos rendszerrel dolgozik, amely hivatott a hibamódokat és hatásokat értékelni, elemezni és legtöbbször teammunka vagy brainstorming formájában valósítható meg. [3]

Az elemzés dokumentálását táblázatban végezzük, amely súlyozásos elven tartalmazza a gyártmányhoz vagy a technológiához kapcsolódó fontosabb paramétereket, mint például:

- a hibák lehetséges okai.
- a lehetséges hibák;
- az alkatrész vagy a művelet megnevezése;
- a hibák következményei;

A fennálló állapot jellemzői:

- a hiba várható előfordulásának pontszáma;
- a hiba jelentőségének pontszáma;
- a hiba észlelhetőségének pontszáma;

- ellenőrző intézkedések;
- a javasolt intézkedések, felelős és határidő megjelölésével.

A javított állapot jellemzői (azonosak a fennálló állapot jellemzőinek címszávaival).

Az eredő szorzatpontoszám (RPN, ratio priority number) az alábbi összefüggéssel számítható: $RPN = \text{előfordulás} \times \text{jelentőség} \times \text{észlelhetőség}$.

Az RPN értéke határozza meg a követendő eljárásokat és a beavatkozási rendet, amelyet a termék, technológiai folyamat minőségbeli javítása érdekében alkalmazni kell.

Jellemző értékei a gépészmérnöki gyakorlatban:

- ha $RPN < 60$: intézkedésre nem szükséges.
- ha $60 < RPN < 120$: az intézkedés megfontolandó.
- ha $RPN > 120$: feltétlenül szükséges intézkedni;

The diagram shows an FMEA table with the following columns: Résztvevő, Komponensek/Folyamat, Funkció, Hibafajta, Hiba következmény, Hibaok, Hiba elkerülése, Hiba feltárása, S, O, D, RPN, and Intézkedések (felelős, határidő). Callouts provide detailed explanations for these columns:

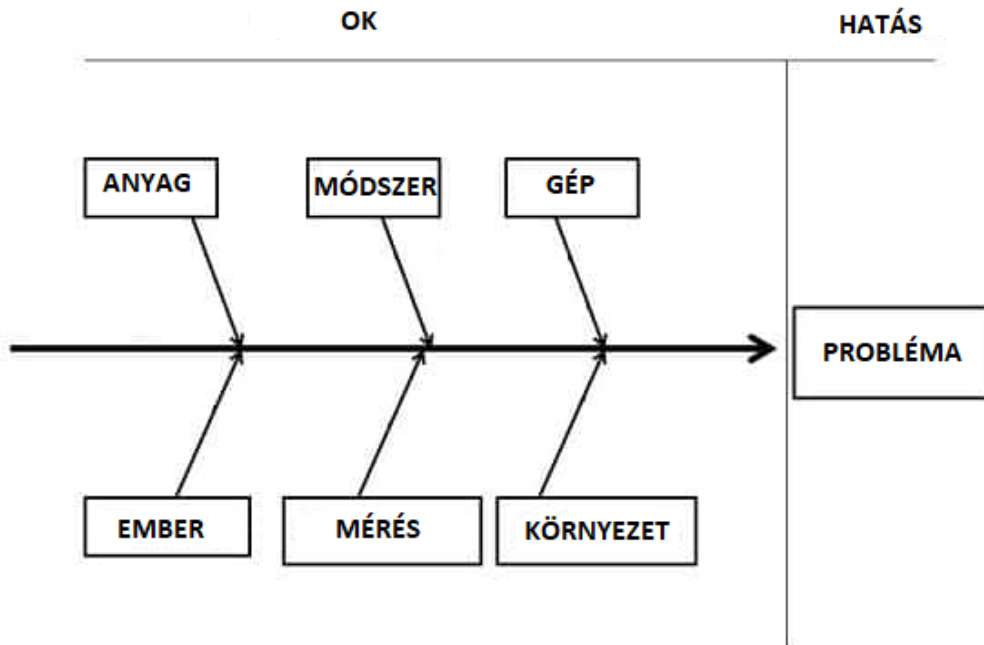
- Mik a funkciók, a jellemzők, a folyamat inputok, illetve a folyamat lépései?** (Mik a funkciók, a jellemzők, a folyamat inputok, illetve a folyamat lépései?) - points to the 'Funkció' column.
- A lehetséges hatások meghatározása** (A lehetséges hatások meghatározása) - points to the 'Hiba következmény' column.
- Jelenlegi intézkedések a hiba kontrolálására** (Jelenlegi intézkedések a hiba kontrolálására) - points to the 'Hiba elkerülése' column.
- Súlyosság, gyakoriság, felismerhetőség értékelése** (Súlyosság, gyakoriság, felismerhetőség értékelése) - points to the 'S', 'O', and 'D' columns.
- Mit lehet tenni ellene? Hatások ellenőrzése!** (Mit lehet tenni ellene? Hatások ellenőrzése!) - points to the 'Intézkedések' column.
- A funkció, a műveleti lépés stb. hibalehetőségeinek meghatározása** (A funkció, a műveleti lépés stb. hibalehetőségeinek meghatározása) - points to the 'Hibafajta' column.
- A lehetséges okok meghatározása** (A lehetséges okok meghatározása) - points to the 'Hibaok' column.
- Jelenlegi vizsgálati, hibafeltárási intézkedések** (Jelenlegi vizsgálati, hibafeltárási intézkedések) - points to the 'Hiba feltárása' column.
- RPN érték kiszámítása** (RPN érték kiszámítása) - points to the 'RPN' column.

8.1. ábra: FMEA táblázat hibafelvételhez [7]

8.2 Ok-okozati elemzés szerepe

Az Ishikawa-diagram vagy más néven ok-okozati diagram megmutatja milyen arányúak és melyek azok a hatások, amelyek a nem megfelelő minőséget okozzák.

Az elv, hogy a gyengeségeket okozatnak tekintjük, és megkeressük a kiváltó okokat. Ez a folyamat az ok-okozati elemzés, amely többnyire csoportmunkában végzett tevékenység.



8.2. ábra: Ok-okozati diagram [8]

A módszer vizuális megjelenítő eszköze az Ishikawa- vagy halszálkadiagram, amely a következő előnyöket nyújtja:

- globálisan elemzi és áttekinti a problémát
- feltárja a mélyen fekvő okozati hálót és kapcsolatokat

Az ábra termékek és folyamatok elemzésére egyaránt alkalmas, elsősorban a 4M vagy 5M struktúra kialakítására kell törekedni. A diagram gerincéből leágazó fővonalak végein lévő tömbökbe írjuk be a fő okhalmazt, majd ezekből a vonalából származó leágazó vonalak mellé az egyes okokat, az alábbi irányelvek elemzése segítségével:

- ember (Man);
- gép (Machine);
- anyag (Material);
- módszer (Method);
- mérés (Measuring).

8.3 Hibamegállapítás szemrevételezéssel

A legegyszerűbb és legköltséghatékonyabb eljárások közé tartozik, ugyanis a számottevő kopások, sérülések, repedések, törések, felülethibák, korróziós nyomok

diagnosztikai berendezések nélkül is észlelhetők. Az alkatrészek kapcsolódó, súrlódó felületeinek szemrevétele alapján eldönti, hogy szükséges-e további műszeres méréseket alkalmazni.

Bár gépjavítás munkafázisában célszerű első lépésként alkalmazni, majd megfontolni a további hibafeltáró vizsgálatok szükségességét.

A szemrevételezés mérési elve: látható fényben a hibák érzékelése. Alkalmazhatóság: csak a felületre kijutó hibák (repedések, porozítások, felületi hibák, felszakadások, beszívódások stb.) kimutatására alkalmas. A szemrevételezés előnye: gyors egyszerű, szakértelmet nem igényel, hátránya, hogy szubjektív, nehezen dokumentálható. Az emberi szem érzékelő képességének javítása nagyítókkal, megvilágító eszközökkel lehetséges. Belső felületek (tartályok, csövek, palackok) hibáihoz műszerezett vizuális vizsgálatokat kell végezni.

8.4 Hibamegállapítás gépészeti méréssel

A nagy pontossággal pontosan megmunkált alkatrészfelületek esetén a kopás és a deformáció mértékét mérőműszerekkel lehet megállapítani. A gépészeti mérések fő célja a kopások feltárása, ezért a hibafelvételkor az alakhűség és a helyzetpontossági vizsgálatok igen fontosak. Az eljárás gyakran kiegészül felülettopográfiai mérésekkel, mivel a kopások feltárásának fontos eszköze az átlagos felületi érdesség változásának mérése. Fő eszközei a tolómérő és a mikrométer, valamint a különböző idomszerek és gépészeti mérőpadok. Teret hódítanak a 3D-s gépészeti mérőberendezések is, amelyek lehetővé teszik a mérési adatok strukturális adatbázisokban való kezelését.



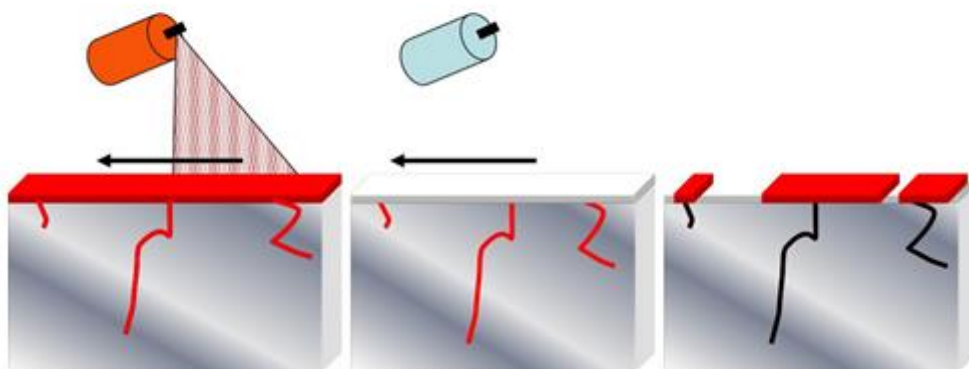
8.3. ábra: Gépészeti mérés gépfelújítás során [9]

8.5 Anyagdiagnosztikai eljárások szerepe a javítástechnológiában

Az anyagdiagnosztikai eljárások célja a javítás előtt álló gép vagy gépelem belső integritásának ellenőrzése, hogy a megfelelő javítástechnológiai tervezhető legyen.

A gépészmérnöki gyakorlatban az egyik legegyszerűbb anyagdiagnosztikai módszer a fluoreszkáló jelzőfolyadék használata. A festékanyagot a vizsgálandó munkadarabot be kell mártani, majd a folyadékból kiemelt és alaposan letörölt alkatrészt ezután besugározzuk. A repedésekben a beszívárgott festék fluoreszkál és feltárja a repedések helyét.

A felületi repedések felderítéséhez az aeroszolos módszer is alkalmazható. A készlet három aeroszolos tartályból áll. Az egyik élénk színű jelzőfestéket tartalmaz. Ezzel a megelőzően zsírtalanított alkatrész felületét egyenletes vékony rétegben kell befűjni, amely pár perc alatt bediffundál a felületi repedésekbe. A második aeroszol lemosóvegyületet tartalmaz, vele eltávolítható a felületről a festék. A harmadik aeroszolban előhívó festék van, ezzel a letisztított felület egyenletesen befűjve, rövid száradás után élénken világító, fényre fluoreszkáló bevonat keletkezik, amely hatékonyan kimutatja a felületi repedéseket.



8.4. ábra: Penetrációs anyagvizsgálati módszer [10]

Radiológiai és izotópos vizsgálatokkal általában olyan hibák mutathatók ki, amelyeknek a mérete a sugárzás irányában legalább az átsugárzott vastagság 1-2%-át meghaladja, és az anyaghiányt olyan gáz vagy nem fémes zárvány tölti ki, amelynek anyaga lényegesen eltérő módon abszorbjálja el a sugárzást, mint az alapfém. Ezért az eljárás repedésszerű hibák kimutatására az ipari gyakorlatban még éppen elégséges eredményt mutat, de az anyag belsejében levő repedések kimutatására legjobban használható az ultrahangos repedésvizsgálat. Az ultrahanghullámok a homogén, szilárd közegben, mint irányított és nyaláboltsugarak nagyobb elnyelődés nélkül haladnak. A szilárd közeg és levegő vagy egyéb gáz, vákuum határfelületéről majdnem teljes visszaverődést szenvednek. A módszer még nagy anyagvastagság esetén is jól alkalmazható a repedések kimutatására.

Röntgensugaras törés- és repedésvizsgálat:

A röntgensugaras törés- és repedésvizsgálat eredményessége függ az anyagban történő abszorpciótól. Ha a tárgyban belső hibák vannak, abban az esetben az anyag vastagsága a hiba lokális helyén számottevően lecsökkenhet. Ennek következtében a munkadarab másik oldalára helyezett filmet a hiba helyén nagyobb intenzitású sugárzás éri, vagyis az előhívott filmen a sötét folt utal a hiba jelenlétére.

Mágneses törés- és repedésvizsgálat:

Hasonló felbontással rendelkezik, mint a röntgensugárral történő vizsgálat, viszont munkavédelmi szempontból előnyösebb az alkalmazása. A vizsgálat során az anyagban létrehozott mágneses tér erővonalait eltérítik, az így kialakuló szórt fluxust a felületre felvitt ferromágneses por sűrűsödése jelzi. Hátránya, hogy csak a ferromágneses anyagok felületi vagy felület közeli hibáihoz alkalmazható a vizsgálati eljárás. Alkalmazásának előnyei a részletes, nagy felbontás (1 μm), viszont vizsgálatot követően gondoskodni kell a demagnetizálásról. A mágneses erővonalak a munkadarabot az áram áthaladási irányára merőleges síkban veszik körül. Így a munkadarab hossz tengelyével párhuzamos hibák mutathatók ki, viszont amennyiben az irány nem ismert, abban az esetben két egymásra merőleges irányban kell elvégezni a mérést, amely növeli a vizsgálat időtartamát.

8.6 Gépdiagnosztikai eljárások szerepe a javítástechnológiában

A gépjavítás terén a funkció szempontjából fontosabb egységek online állapotvizsgálatot igényelnek, a kevésbé jelentősek az előző fejezetekben taglalt, időszakos felülvizsgálat keretében üzemeltethetők. Rendszerszinten beszélhetünk gépek és gépelemek állapotvizsgálatáról. A gépek komplexitásuk függvényében több részegységből épülnek fel, minden részegységet külön-külön is diagnosztizálhatunk. Meg kell említeni, hogy kiegészítő diagnosztikának fontos szerepet tölt be a termográfia, vagyis a hőkamerás állapotvizsgálat, amely mint kiegészítő módszer költséghatékony eljárás lehet. [2]

Javítástechnológiai szempontból a csapágyak a gépekek meghatározó elemei, amelyek meghibásodása a gép üzemzavarához, hirtelen termelés kieséshez vezethet. Meghatározó jelentőségű ezért, hogy az esetleges üzem közbeni meghibásodások időben diagnosztizálásra kerüljenek. Szintén fontos és széles körben alkalmazott a hajtási elemek állapotvizsgálata, amelyek a csapágyakkal együtt a hajtóművek kritikus erőátviteli komponensei.

Beszélhetünk gyártási vagy üzemeltetésből eredő, kopás okozta hibákról. A gyártás alatt előforduló hibák a csapágygyűrűk köralakhibáiból és felületi érdességi hibákból, illetve szerelési hibákból erednek túlnyomó többségben detektálásukra több eredményes módszer ismert.

Az üzemelés közben fennálló hibák a csapágy anyagát érintő kifáradási folyamatokból származtatható. A dinamikus erőhatások a csapágy anyagában ismétlődő feszültséget keltenek, amelyek mikrorepedéseket okoznak.

A repedésből és felületi beégésekből eredő csapágyhibák rövid időtartamú tranziens impulzusokat keltenek, amelyeket zajjal terhelt környezetből kell kivonatolni, ahol a jel-

zaj arány értéke alacsony. Zavaró tényezőkként említhető például a környező gépek és gépelemek rezgései, a környezeti rezgések és egyéb külső hatások.

8.6.1 Időtartománybeli gépvizsgálatok

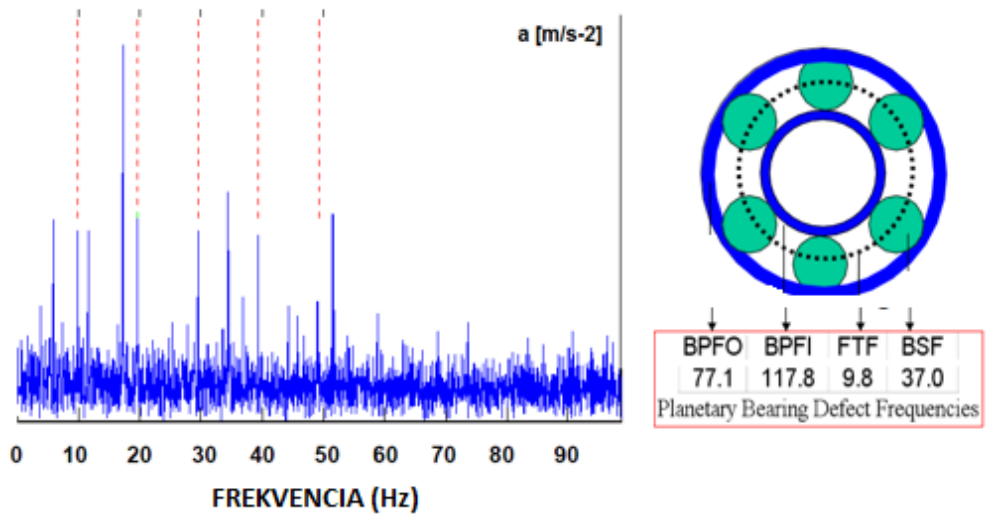
Tipikus és elfogadott rezgésdiagnosztikai módszer, amikor a rezgésparaméterek mérése során a mért értékek statisztikai jellemzői kerülnek meghatározásra. Ilyen értékek a négyzetes középérték, és a csúcstényező, a valószínűségi változók sűrűségfüggvénye, és továbbá a variancia, csúcosság, a ferdeség és a lapultsági együttható. A hibátlan csapágyak rezgésgyorsulásának valószínűség sűrűségfüggvénye normál eloszlású. A hibás csapágyé más valószínűség sűrűségfüggvénnyel rendelkezik. A rezgésértékek további statisztikai momentumai is hatékonyan felhasználhatók állapotfelügyelet, diagnosztika és prognózis céljára. A hibátlan csapágyak mérések szerinti csúcosság értéke hozzávetőlegesen 3. A 3-asnál nagyobb érték a lehetségesen előálló meghibásodás indikátora. A módszer lokális hibáknál, mint a pontszerű kipattogzódás hatékonyan működik viszont hátránya, hogy nem lokális jellegű hibáknál kiterjedt meghibásodások esetében a csúcosság értéke megmarad a 3 érték körül, amely alapján félrediaosztizálható a hibás csapágy állapota, a kezdeti meghibásodások sem minden esetben detektálhatók, ezért az ipari gyakorlatban a csúcossági tényező figyelése széles körben nem terjedt el.

8.6.2 Frekvenciatartománybeli gépvizsgálatok

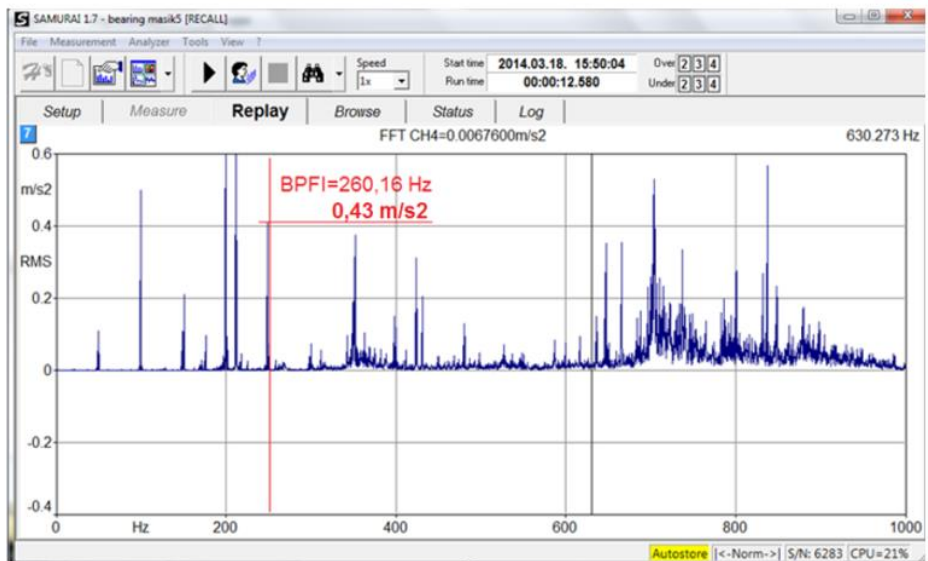
A Fourier transzformáció elméletét jelen jegyzetben nem részletezzük. A folytonos Fourier transzformációból származtatható diszkrét alapú digitális DFT ugyan eredeti formájában még közvetlenül nem alkalmazható a gyakorlatban, ugyanis olyan sok tényezőt és paramétert kell a számítógéppel kiszámíttatni egy egyszerű spektrum esetén, amely az ipari gyakorlatban elfogadhatatlan gépidőt igényel. A DFT alkalmazásához egy nagyon hatékony számítási algoritmust dolgozott ki Cooley és Tukey 1967-ben, amely algoritmus gyorsaságáról a gyors Fourier transzformáció - vagy Fast Fourier Transform - nevet kapta. [2] Ez az algoritmus tartalmaz bizonyos megszorításokat az időjelre és a spektrumra, jelenleg erre épülnek a spektrum-elemző készülékek.

A digitális időjelek száma kettő hatványa kell, hogy legyen, az FFT analízis frekvencia tartománya a vett minták számától és a mintavételezés sebességétől függ. A klasszikusnak tekintett FFT algoritmuson kívül, amit Cooley és Tukey javasolt nagyon sok algoritmus született, de lényegük ugyanaz. Az esetek többségében nem áll rendelkezésre sok idő, így nagy jelentősége van az FFT algoritmusoknak, melyek mérséklék a matematikai műveletek számát, ezáltal a spektrum kiszámításának idejét

Tehát az eljárás fő célja, hogy az időtartományból a frekvenciatartományba transzformáljuk a jelet, előállítsuk a rezgési spektrumot, ahol a csapágyak és egyéb gépek, gépelemek hibafrekvenciái diagnosztizálhatóvá válnak. Amennyiben ismerjük az üzemi fordulatszámot, a csapágy típusát, formulák segítségével kiszámítható a belső gyűrű- külső gyűrű- gördülőelem- és kosárhibákból eredő hibafrekvenciák, ezeket egyértelműen lehet detektálni a rezgésspektrumban és a gépjavítást megelőzően a helyes és költséghatékony javítási stratégiát, módszereket felállítani.



8.5. ábra: Csapágyhibák transzformációja frekvenciatartományba



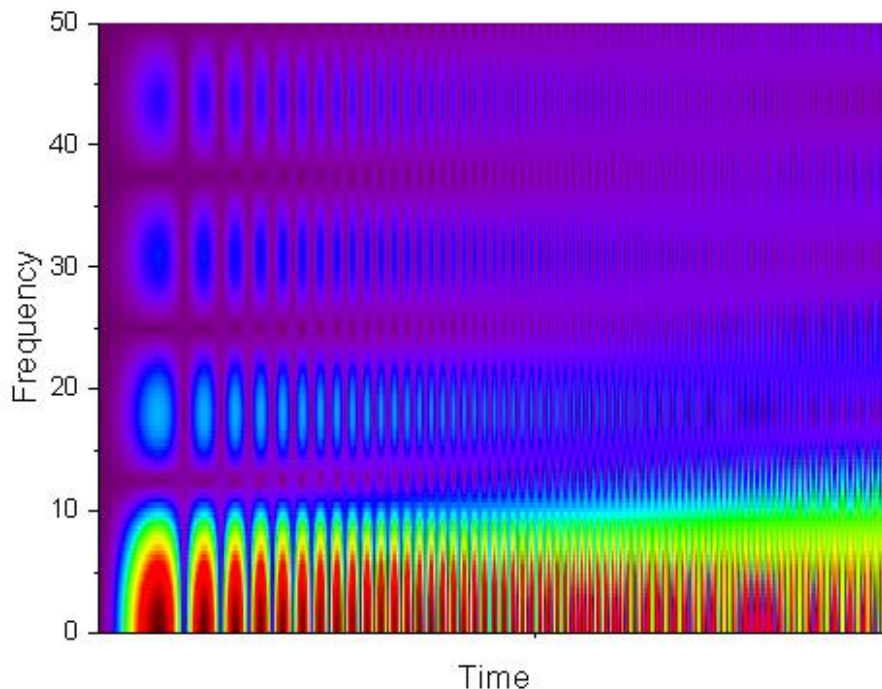
8.6. ábra: Csapágy frekvencia jellegzetes hibaspektrum belsőgyűrű hibával

8.6.3 Gépek és gépelemek vizsgálata STFT módszerrel és wavelet transzformációval

A korábban említett DFT, FFT módszerek nem tájékoztatnak minket a jel időbeli lokalizációról, amit a jel ablakozásával, azaz ablakfüggvénnyel való szorzásával valósíthatunk meg, az eljárást – Short Time Fourier Transformation (STFT) – nevezzük.

A wavelet transzformált a rögzített, a csak idő vagy a csak frekvencia kép közötti leírás. A wavelet transzformáció segítségével a jelek időbeli vagy térbeli és a frekvenciatartománybeli analízise az előbbi módszerekkel szemben egyszerre hajtható végre. Így a wavelet transzformáció segítségével egy éles változás a frekvenciaspektrumban annak előfordulási idejével együtt, egyszerre határozható meg. A wavelet transzformáció hasznos gyenge jelek vizsgálatára zajjal terhelt környezetben, ahol az SNR (signal-to-noise ratio) jel-zaj arány kicsi.

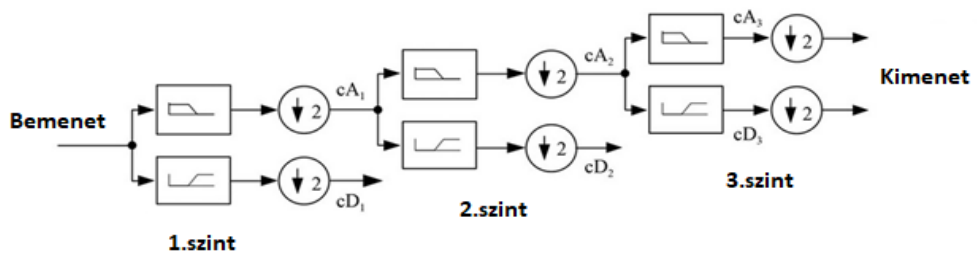
A folytonos idő-frekvencia eloszlások osztályába tartozik az ablakozott Fourier-transzformáció (STFT) és a wavelet-transzformáció (WT). Ezek a módszerek időben és frekvenciában diszkrét elemű függvényekre bontja fel a vizsgálandó jelet, a jel energiáját két változó az idő és a frekvencia függvényében vizsgálja. A spektrogram a STFT (6. ábra) abszolút értékének négyzete, amely a diagnosztika hasznos eszköze képi megjelenítés terén, frekvencia-idő síkot cellákra bontja, vagyis speciális felbontásként fogható fel, amikor az adott cella egyik irányban végtelen kiterjedésű lesz, de a másik dimenzióban részletes analízist tesz lehetővé az amplitudó részletessége.



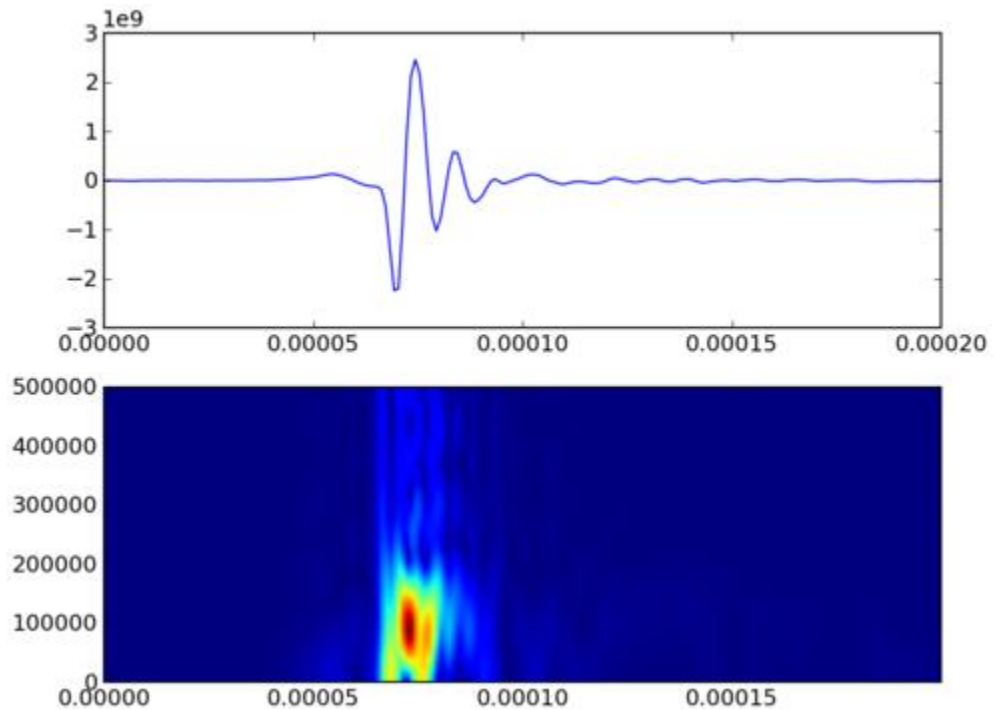
8.7. ábra: Idő-frekvenciatartomány grafikon

8.6.4 A változó felbontású elemzés szerepe a javítástechnológiában

A más néven és rövidebben MRA-nak (Multiresolution Analysis) megnevezett eljárás a frekvenciaspektrum szegmensekre történő felbontását jelenti, amely frekvenciatartományokat ezt követően részletesen, elemzünk, a spektrum felbontása többlépcsős eljárás. Megfelelően méretezett frekvencia-sávban szeparált szűrőt kell alkalmazni, amelyek alul- és felüláteresztő, FIR és IIR szűrők kombinációi, ennek során a jel felbontható „low” közelítés- és „high” részlet jelkomponensekre, a 8.8. ábra szerint. A mérési jel wavelet transzformációt követő képe, belső gyűrű hibás csapágy esetén a 8.9. ábrán látható.



8.8. ábra: A változó felbontású elemzés frekvencia szerinti felbontása



8.9. ábra: A belső gyűrű hibával rendelkező csapágy wavelet transzformáció után nyert spektruma

A következő fejezetrészen bemutatunk egy, a Debreceni Egyetem Műszaki Kar Gépészmérnöki Tanszékén épült csapágy tesztpadot, amely a 8.10. ábra szerinti kivitelben épült meg és ehhez kapcsolódóan a jegyzetben közlünk egy mérési esettanulmányt. A tesztpad 5 különböző típusú csapágy vizsgálatát teszi lehetővé változtatható fordulatszám mellett. [5]



8.10. ábra: Csapágyvizsgáló tesztpad

A teszt során 6206 típusú csapágy belső gyűrűjén lézeres megmunkáló géppel kis mértékű mesterséges hiba került kialakításra. A hiba geometriai mérései szerint 658 μm átlagos átmérővel és 257 μm átlagos mélységgel rendelkezik, amelyen a gördülőelemek forgás közben áthaladnak és a rezgésspektrumban fellépő belső gyűrű hibát generálnak. A geometriai méréseket segítette a rendelkezésre álló Olympus BX61 típusú optikai mikroszkóp. A belső gyűrű hibafrekvencia (BPFI) 2880 1/ min névleges motorfordulatszám mellett került kiszámításra, amely 260,16 Hz-re adódott, ismerve a csapágy típusát, kapcsolódószöveget, fordulatszámot, gördülőelemek számát és a vonatkozó csapágygyűrű átmérőt. A külső gyűrű hibafrekvencia (BPFO, ball passing frequency outer race), a kosár hibafrekvencia (FTF fundamental train frequency), a gördülőelem hibafrekvencia (BSF ball spin frequency) hasonló módon kiszámításra került a kapcsolószög, fordulatszám, és a gyűrűátmérők, gördülő elemek számának ismeretében. BPFO=171,84 Hz, FTF=19,2 Hz, BSF=112,32 Hz.

A csapágy a hibából eredő önrezgési frekvenciát 2200 Hz környékén produkálta. MRA elemzéssel 6 db szűrő lett megvalósítva, 6-od rendű alul- és felüláteresztő Butterworth szűrők formájában 24 dB/ oktáv vágási meredekségekkel. 10 kHz-es kiindulási felső határfrekvenciától az első szinten 5-10 KHz között, a második szinten 2,5-5,0 kHz között és a harmadik szinten 1.25-2,5 kHz között kerültek a jelsávok részletes elemzésre. Tehát a 2200 Hz a harmadik szinten elemezhető volt, a 9. ábrán látható tranziens képében egyértelművé vált a kis mértékű hiba, pitting jelenléte. A tranziens impulzus elemzésével meghatározható volt a gördülőelem hibába történő belépési és kilépési pontja és így az kísérleti mozgási- és csapágyparaméterek ismeretében a hiba geometriai kiterjedése, nagysága is.

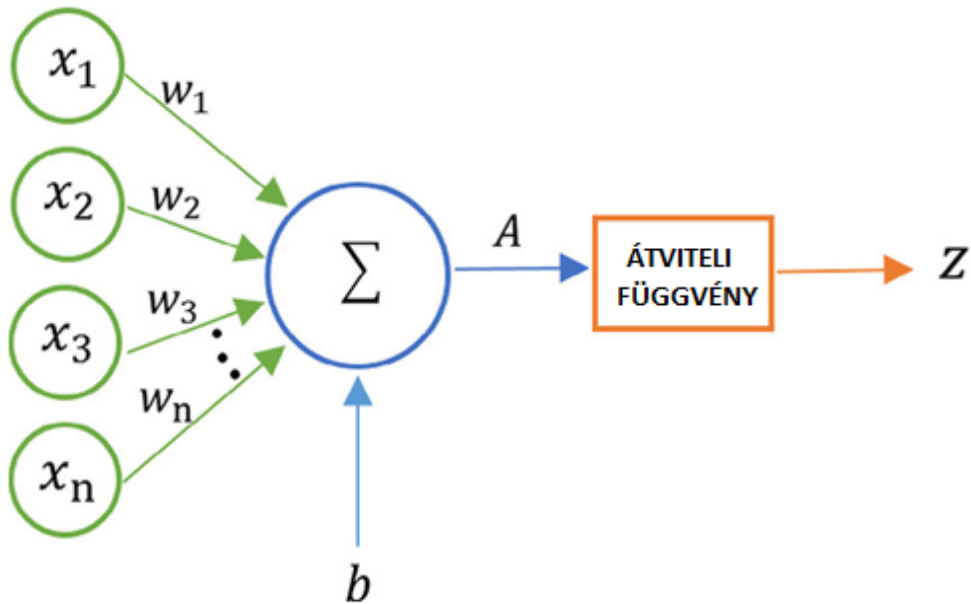
9 GÉPI TANULÁSI MÓDSZEREK A MŰSZAKI DIAGNOSZTIKÁBAN

9.1. Mesterséges neurális hálók alkalmazása a javítást megelőző diagnosztikában

Javítástechnológiai szempontból fontos a megbízható állapotfeltárás. A rezgésspektrumok és paraméterek ember által történő elemzése, főleg online diagnosztika esetén gyakran kivitelezhetetlen és időrabló feladat. Költségsökkentő és a hibafeltárás megbízhatóságát növelő módszer a gépi tanulási módszerek alkalmazása, amelyek a mesterséges intelligenciákhoz kapcsolhatók, ilyenek a mesterséges neurális hálók (ANN) és a tartóvektor gépek (SVM) rendszerek, amelyek betaníthatók a hibajelenségek automatikus felismerésére. Meg kell említeni az emberi gondolkodást modellező, a Fuzzy logikán alapuló hálózatokat is. A neuronokból álló hálózatokat nevezzük neurális hálózatoknak. Megvalósításuk szerint lehetnek hardver, szoftver, vagy a kettő kombinációja.

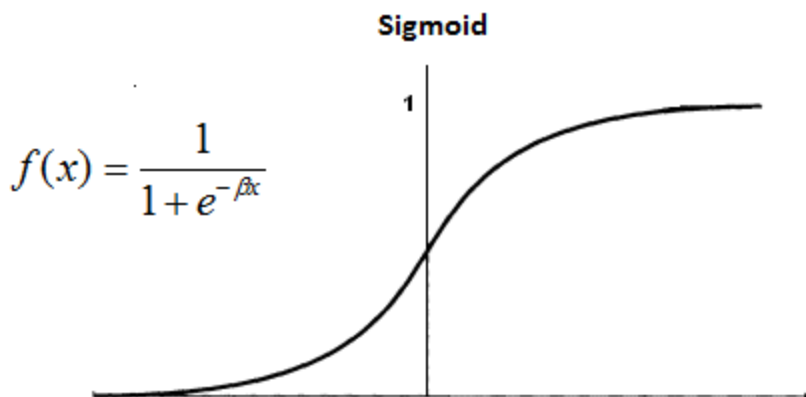
A mesterséges neurális hálózatok (ANNs) biológiailag ihletett számítógépes programok, amelyek arra szolgálnak, hogy szimulálják az emberi agy által az információ feldolgozásának módját. Egy ANN több száz egységből, mesterséges neuronokból vagy feldolgozó elemekből áll, amelyek együttműködnek (súlyokkal) kapcsolódnak, amelyek az idegstruktúrát alkotják, és rétegekbe szerveződnek. Minden neuron súlyozott bemenetekkel, átviteli funkcióval és egy kimenettel rendelkezik. A neurális hálózat viselkedését az idegsejtek átviteli függvényei, a tanulási szabály és az architektúra határozza meg. A súlyok az állítható paraméterek, és ebben az értelemben a neurális hálózat paraméterezett rendszer. A bemenetek mérlegelt összege jelenti a neuron aktiválódását. Az aktiváló jel áthalad az átviteli függvényen, hogy egyetlen kimenetet hozzon létre a neuronból. Az átviteli függvény bevezeti a nemlinearitást a hálózatba. A betanulás során az egységek közötti kapcsolatok optimalizálásra kerülnek, amíg a becslések hibája minimalizálódik, és a hálózat eléri a meghatározott pontossági szintet. Miután a hálózatot betanították és tesztelték, új bemeneti információkat kaphat a kimenet előrejelzéséhez. Sokféle neurális hálózat létezik, de mindegyiket le lehet írni az idegsejtek átviteli függvényeivel. Az ANN javítástechnológiai szempontból is megfelelő elemzési és modellezési technikát képvisel, különösen olyan adatkészletek esetében, amelyek nemlineáris kapcsolatainak vannak. A modell specifikáció szempontjából a mesterséges neurális hálózatok nem igényelnek az adatforrás ismeretét, de mivel gyakran nagy mennyiségű súlyozó tényezőt tartalmaznak, a betanító adathalmaznak sok elemből állónak kell lennie. Az ANN különböző alkalmazási lehetőségei osztályozásra vagy mintafelismerésre, előrejelzésre és modellezésre vonatkoznak. A felügyelt társult hálózatokat a hagyományos válaszfelszíni módszertan alternatívájaként alkalmazhatják a gépészmérnöki gyakorlatban, ezen belül a javítást megelőző gépi diagnosztikában. A felügyelet nélküli funkciók kitermelő hálózatok alternatívát jelentenek a fő komponens elemzéshez. A nem adaptív, felügyelet nélküli hálózatok képesek a minták felépítésére, ha zajos mintákkal kerülnek bemutatásra és fel lehet használni a képfelismeréshez.

A következőekben áttekintjük a módszer logikai és matematikai hátterét. A mesterséges neurális háló része a bemeneti réteg, azok a neuronok (9.1. ábra) találhatóak itt, amelyek a bemeneti jel továbbítását végzik a hálózat felé.



9.1. ábra: Az elemi neuron súlyokkal, aktivációs- és átviteli függvénnyel

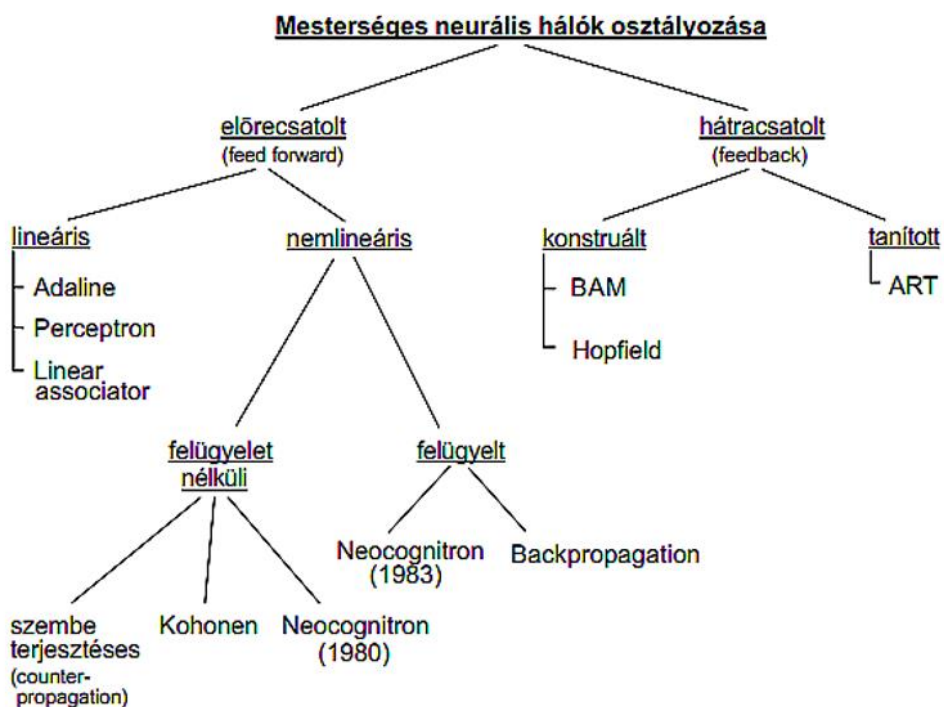
Az ún. átviteli függvény miatt a neuron bizonyos aktivációs potenciál felett ad kimeneti jelet, legelfogadottabb a sigmoid függvény (9.2. ábra) amely produkálja az aktivációs potenciálból a kimenő jelet.



9.2. ábra: Sigmoid függvény

Összefoglalva a mesterséges neurális hálózatok jellemzői:

- Betanítható és mesterséges intelligenciaként viselkedik
- Önszervező képessége van
- Flexibilis hibadiagnosztika
- Adaptív és gyors működés
- Kapcsolati viszonyok feltárása a rétegekben
- Komplex adatkezelés



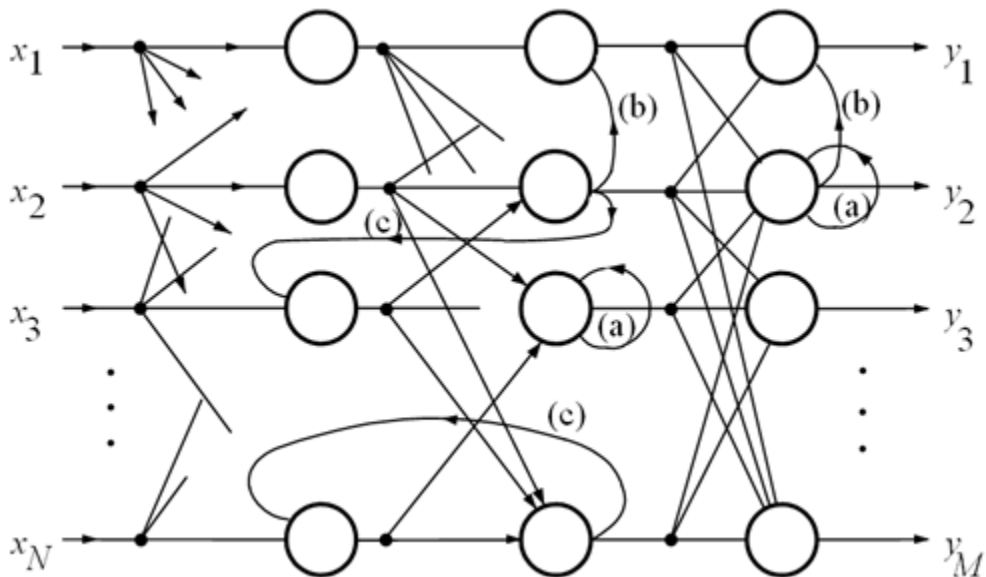
9.3. ábra: A mesterséges neurális hálózatok lehetséges csoportosítása

Az ANN topológiája (9.4. ábra) látható az ábrán, gyakori az ún. szerint a back-propagation (hátra terjesztés) tanulási elv, amely a neurális háló súlyait olyan módon rögzíti, hogy a kalkulált kimenet és az elvárt kimenet differenciáit felhasználva a kapcsolati súlyokat olyan irányba változtatja, hogy az bemeneti érték a következő esetben mérséklődjön.

Ami a neurális hálózatok fajtái illeti, felügyelt tanulást valósítanak meg a Perceptron, Back-propagation, Adaline, Madaline, Boltzmann-gép. Analitikus tanítású hálózatok a Boltzmann gépek, Mean-field hálózatok, Hopfield hálózatok, CNN hálózat. Előrecsatolt

hálózati struktúrák felépíthetők FIR szűrőkkel, vagy késleltetett bemenetekkel. Nem ellenőrzött tanítású hálózatok például a Kohonen hálózat, ellenőrzött tanítású hálózatok, az RBF háló.

A mesterséges neuronok és a kapcsolatok jellemzően olyan súlyokkal rendelkeznek, amelyek a tanulás folytatásaként alkalmazkodnak. A súly növeli vagy csökkenti a jel erősségét két neuron közötti kapcsolatban. A mesterséges neuronok aktiválási küszöb értékkel rendelkeznek, amelyek a mesterséges neuronok rétegekben vannak kialakítva. Különböző rétegek meghatározott változásokat idézhetnek elő a bemenetükön. A jelek az első (bemenet) és az utolsó (kimeneti) réteg között haladnak.



9.4. ábra: A mesterséges neurális hálózatok topológiája

A tartó vektoros gépek (SVM) és egyéb gyakori módszerek, mint például a lineáris osztályozók fokozatosan elérték a neurális hálózatokat a gépi tanulás népszerűségében, ami a mérnöki alkalmazásokat illeti.

A neurális hálózatok betanításának korai kihívásait olyan módszerekkel sikerült kezelni, mint a felügyelet nélküli betanítás, amely a rendelkezésre álló számítási teljesítmény fejlődésével modernizálódott és jobb hatásfokú tanulást, osztályozást, hibafelismerést, műszaki diagnosztikát valósított meg. A neurális hálózatokat széles körben alkalmazzák, különösen a kép- és a vizuális felismerési problémák terén is, például a csapágyak kopásos okozta károsodása vagy akár a gyártási hibái is feltárhatók.

Az ún. gradiens-probléma a sokszoros előrehaladást elősegítő hálózatokat érinti, amelyek ismétlődő neurális hálózatokat (RNN-eket) használnak. Mivel a hibák a rétegről a rétegre terjednek, exponenciálisan csökkennek a rétegek számával, ami megakadályozza a neuron súlyok azonosítását, így a hibadiagnosztikát is.

A mesterséges neurális hálózat betanítása:

A betanítási fázisban az egyes rekordok helyes osztályát ismerjük (ez a felügyelt tréningnek nevezzük), és a kimeneti csomópontok így "helyes" értékeket kaphatnak - "1" a megfelelő osztályhoz tartozó csomópont számára, és "0" a többiek számára. (A gyakorlatban jobbnak számítanak a 0,9-es és a 0,1-es értékek.) Így lehetséges összehasonlítani a kimenő csomópontok hálózatának kiszámolt értékeit ezekkel a "helyes" értékekkel, és kiszámítani az egyes csomópontokra (ún. "Delta" szabály). Ezeket a hibafogalmakat használják a rejtett rétegekben lévő súlyok beállítására, amelynek hatására a kimeneti értékek közelebb kerülnek a "helyes" értékekhez.

Az iteratív tanulási folyamat:

A neurális hálózatok egyik legfontosabb jellemzője egy iteratív tanulási folyamat, amelyben a bemeneti értékekkel társított súlyokat minden alkalommal kiigazítják. Miután betanították a rendszer számára az összes esetet, a folyamat gyakran újratekintődik. Ebben a tanulási fázisban a hálózat megtanulja a súlyok módosításával, hogy képes legyen megjósolni a bevitt minták megfelelő osztálycímekjét. A neurális hálózatok tanulását "kapcsolódási tanulásnak" is nevezik az egységek közötti kapcsolatok miatt. A neurális hálózatok előnyei magukban foglalják a zajos adatokra való nagyfokú toleranciát, valamint azon képességeiket, hogy osztályozzák azokat a mintákat, amelyekre nem képeztek képzést. Ez különösen előnyös komplex és összetett géprendszer javítás előtti állapotfeltárásában, ahol a zajos adat igen gyakori.

Miután a hálózatot egy adott alkalmazáshoz strukturálták, a hálózat készen áll a betanulásra. A folyamat elindításához a kezdeti súlyokat véletlenszerűen kell kiválasztani.

A hálózat egyenként feldolgozza a rekordokat a betanítási adatokból, a súlyokat és funkciókat a rejtett rétegekben, majd összehasonlítja az eredményeket a kívánt kimenetekkel. A hibákat ezután átviszik a rendszeren keresztül, és ezáltal a rendszer beállítja az alkalmazáshoz szükséges súlyokat a következő feldolgozandó rekordra. Ez a folyamat újra és újra bekövetkezik, mivel a súlyok folyamatosan csökkennek. A hálózat betanítása során ugyanazt az adatsort többször fel kell dolgozni, aszerint, hogy a csatlakozási súlyok folyamatosan finomulnak.

Fontos, hogy egyes hálózatok soha nem tanulnak, mivel a bemeneti adatok nem tartalmazzák azokat a konkrét információkat, amelyekből a kívánt kimenet származik. A hálózatok nem konvergálnak, ha nincs elég adat a teljes tanuláshoz. Ideális esetben elegendő adat kell, hogy legyen az adatok egy része érvényesítési készletként visszatartva.

Feedforward, Back-Propagation:

Az „előremutató, vissza-terjedő” architektúrát az 1970-es évek elején több független forrás (Werbor, Parker, Rumelhart, Hinton és Williams) fejlesztette ki. Jelenleg ez a szinergikusan kifejlesztett architektúra a legkedveltebb, leghatékonyabb és leginkább tanulható modell a komplex, többrétegű hálózatok számára. Legnagyobb erőssége nem-lineáris megoldások a rosszul meghatározott problémákra. A tipikus back-propagation hálózat bemeneti rétege, kimeneti rétege és legalább egy rejtett rétege van. A rejtett rétegek számára nincs elméleti korlát, de jellemzően csak egy vagy kettő van, legfeljebb öt réteg (egy bemeneti réteg, három rejtett réteg és egy kimeneti réteg) szükséges

bármilyen komplexitás problémáinak megoldásához. Minden réteg teljesen csatlakozik a következő réteghez.

Amint fentebb megjegyeztük, a tanulási folyamat általában a Delta szabály néhány változatát használja, amely a tényleges kimenetek és a kívánt kimenetek közötti számított különbséggel kezdődik. A bemeneteknek, a kimeneteknek és a kívánt kimeneteknek mind ugyanazon feldolgozóelemen kell lenniük. Ennek a tanulási mechanizmusnak a komplex része arra szolgál, hogy a rendszer meg tudja határozni, hogy melyik input adja a legmegfelelőbb osztályozást, diagnosztikát egy helytelen kimenethez, és hogyan változik meg ez az elem a hiba kijavítására. Az inaktív csomópont nem járulna hozzá a hibához, és nem lenne szüksége a súlyok megváltoztatására. A probléma megoldása érdekében a bemeneti rétegeket a rendszer bemeneti rétegére helyezzük, és a kimeneti rétegen összehasonlítjuk a kívánt kimeneteket. A tanulási folyamat során egy előre felé irányulóan történik a hálózaton keresztül, és minden egyes elem kimenetét rétegenként számolja. A végső réteg kimenete és a kívánt kimenet közötti különbség az előző rétegre visszavezetésre kerül, amelyet rendszerint az átviteli függvény maradékértékével módosítanak, és a csatlakozási súlyokat általában a Delta szabály segítségével állítják be.

A hálózat strukturálása:

A rétegek száma és a feldolgozóelemek száma rétegenként fontos paraméterei a neurális hálóknak.

Az első szabály: Mivel a bemeneti adatok és a kívánt kimenet közötti kapcsolat bonyolultsága nő, a rejtett rétegben lévő feldolgozóelemek száma is növekedni fog.

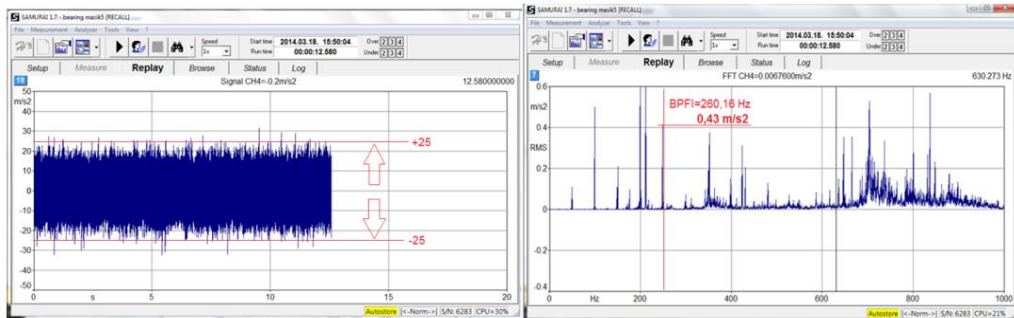
Második szabály: Ha a modellezett folyamat több szakaszra osztható, további rejtett réteg szükségesek. Ha a folyamat nem osztható lépésekre, akkor a további rétegek egyszerűen lehetővé tehetik a tananyag memorizálását, és nem egy valódi általános megoldást eredményez más adatokkal.

Harmadik szabály: Az elérhető képzési adatok mennyisége a rejtett rétegben lévő feldolgozóelemek számának felső határát határozza meg. A felső határ kiszámításához használja az betanító adathalmazban szereplő esetek számát, és adja meg ezt a számot a hálózat bemeneti és kimeneti rétegeinek, csomópontjainak összegével. Ezt követően el kell osztani öt és tíz közötti skálázási tényezővel. Nagyobb skálázási tényezőket használnak kevésbé zajos adatokhoz. Ha túl sok mesterséges idegsejtet használunk, akkor a betanító adathalmazt (például a javítandó gépek, gépelemek, csapágycsoportok mérési adatait) memorizálni fogják. Ha ez megtörténik, az adatok általánossága nem fog bekövetkezni, így a hálózat használhatatlanná válik az új adatkészleteken.

A csapágycsoportok mesterséges hiba okozta hibajelek diagnosztizálására, mérési céllal, kísérleti jelleggel a Debreceni Egyetem Műszaki Kar Gépészmérnöki Tanszékén lévő csapágycsoportvizsgáló tesztállással neurális háló betanítását végeztük diagnosztikai céllal, amelyet jelen jegyzetben esettanulmányként közlünk.

A vizsgált csapágycsoport külső gyűrű hibafrekvencia (BPFO, ball passing frequency outer race), a kosár hibafrekvencia (FTF fundamental train frequency), a gördülőelem hibafrekvencia (BSF ball spin frequency) hasonló módon kiszámításra került a

kapcsolószög, fordulatszám, és a gyűrűátmérők, gördülő elemek számának ismeretében. BPF0= 171,84 Hz, FTF= 19,2 Hz, BSF=112,32 Hz.



9.5. ábra: Az időtartománybeli rezgéskép (balra), frekvenciaspektrum FFT transzformációt követően a 6206 típusú csapágynál

A neurális háló (ANN) 6 bemeneti paraméterrel és 3 kimenetivel rendelkezik, amelyek a lehetséges hibaállapot (lazaság, gyűrűhiba, gördülőelem hiba) indikátorai, ennek megfelelően a jó csapágy +1, a rossz csapágy -1 minősítést kap. Egy előre definiált topológiával és architektúrával rendelkező neurális hálózat került betanításra MATLAB Neural Network Toolbox segítségével. Felügyelt, ellenőrzött tanulást alkalmaztam, ahol ismertek a kimeneti targetek. Szakirodalmi kutatásaim szerint javasolt a Levenberg-Marquart backpropagation algoritmus, mint a Newton gradiens módszer alternatíva, mivel a leggyorsabb.

A neurális háló 6 bemeneti paramétere: 3 időtartománybeli paraméter: maximális rezgés gyorsulás amplitúdó (A_{MAX} , amplitude), kurtózis (K, kurtosis), csúcstényező (CF, crest factor) 3 frekvenciatartománybeli paraméter: külsőgyűrű hibafrekvencia jel amplitúdó értéke (X_{BPF0}), belsőgyűrű hibafrekvencia jel amplitúdó értéke (X_{BPF1}), gördülőelem hibafrekvencia jel amplitúdó értéke (X_{BSF}).

A neurális háló 3 kimeneti paramétere: lazaság, gyűrűhiba (külső- vagy belsőgyűrű), gördülőelem hiba

Az idő- és frekvenciatartományi paraméterekkel a neurális háló betanításra került és a validálást követően a diagnosztikai rendszer hatékonyságát az 1. táblázat összegzi, amely mutatja a vizsgálat jósági értékét és a diagnosztizálási bizonytalanságokat is.

9.1. táblázat: A csapágyhibákra utaló tünetek és a neurális háló hatékonysága

Hiba típusa	Hiba-frekvencia	Neurális háló hatékonysága	Tünetek
Hibátlan	F _s , BPFO, BPFI	-----	F _s , BPFO, BPFI szintjei alacsonyak erősen határolt oldalsávok nélkül.
Lazaság	F _s	92,3%	Az F _s amplitúdó értékei növekednek és az oldalsávok megjelennek.
Gyűrű hiba	BPFI, BPFO	86,7%	A BPFI, BPFO frekvenciákon, illetve felharmonikusokon amplitúdó nő.
Gördülő elem hiba	2*BSF, BPFI, BPFO	94,8 %	2*BSF, BPFI, BPFO hibafrekvenciákon jelentkező jel amplitúdó nő.

9.2. Tartóvektor gépek (SVM) szerepe a javítástechnológiában

A gépi tanulásban a támogató vektoros gépek (SVM-k, támogatják a vektorhálózatokat is) felügyelt tanulási modellek és kapcsolódó tanulási algoritmusok, amelyek elemzik az osztályozáshoz és regressziós analízishez használt adatokat. Az SVM tanuló algoritmus olyan modellt épít, amely új példákat rendel az egyik kategóriához vagy a másikhoz, így nem valószínűsíthető bináris lineáris osztályozóvá (bár a módszerek pl. a Platt skálázás létezik, ha az SVM valószínűségi osztályozási beállításban van). Az SVM modell feladata a térbeli pontok ábrázolása, leképezve úgy, hogy a külön kategóriák eseteit elosztják a lehető legszélesebb résszel. Az új eseteket ezután ugyanabba a térbe rendezik, és azt feltételezik, hogy egy kategóriába tartoznak, amely alapján az osztályozási margó melyik oldalára esnek.

A lineáris besorolás elvégzésén túl az SVM-ek hatékonyan végezhetnek nemlineáris osztályozást a kernel trükk használatával, implicit módon leképezik bemenetüket a nagy dimenziójú esetekre.

Ha az adatok nincsenek címkézve, a felügyelt tanulás nem lehetséges, és egy felügyelet nélküli tanulási megközelítésre van szükség, amely megkísérli megtalálni az adatok

csoporthoz való természetes klaszterelését, majd újabb adatokat térképez fel ezeknek a csoportoknak. A Vladimir Vapnik által létrehozott támogatási vektor-klasztározás algoritmusát a támogatási vektor gépek algoritmusában kifejlesztett támogatási vektorok statisztikáit rendszerezi a jelöletlen adatok kategorizálására, és az ipari alkalmazások egyik legszélesebb körben használt klasztározási algoritmusát.

9.2.1. Az SVM háttér

Az adatok minősítése a gépi tanulás közös feladata. Tegyük fel, hogy egyes adatpontok mindegyike két osztály valamelyikéhez tartozik, és a cél az, hogy eldöntsük, melyik osztályba kerül egy új adatpont. Ezt lineáris osztályozónak hívják. Számos hipersík létezik, amelyek osztályozhatják az adatokat. Az egyik ésszerű választás, mint a legjobb hipersík, az, amely a két osztály között a legnagyobb elválasztást vagy margót képviseli. Ezért kiválasztjuk a hipersíkot úgy, hogy a távolság mindkét oldalról a legközelebbi adatpontig maximális legyen. Ha ilyen hipersík létezik, az úgynevezett maximális margó hipersík és az általa definiált lineáris osztályozó ismert maximális margó osztályozó; vagy egyenértékű módon, az optimális stabilitás perceptronja.

9.2.2. Az eredeti SVM osztályozó

Lineáris osztályozás esetén a keresett hipersík egy lineáris függvény, melynek egyenlete:

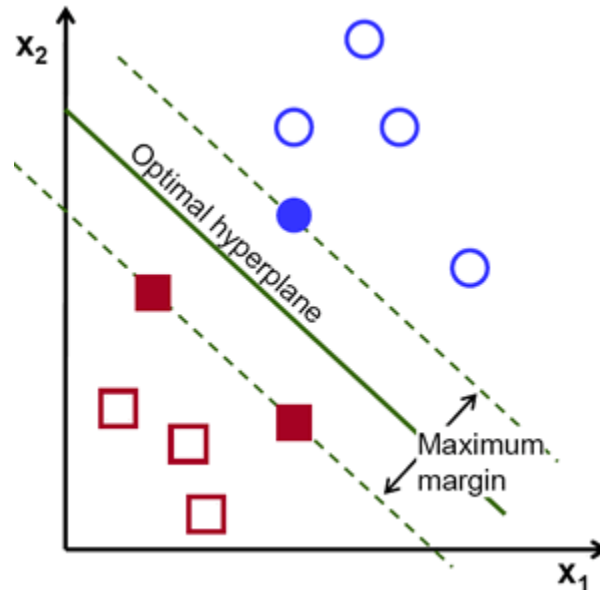
$$w^T x + b = 0$$

ahol:

- w^T – a súlyvektor transzponáltja;
- x – egy jellemzővektor;
- b – az eltolás érték.

A margó nagysága az alábbi módon számítható:

$$M = (X_{+1} - X_{-1}) * n = (X_{+1} - X_{-1}) * \frac{w}{\|w\|} = \frac{2}{\|w\|}$$



9.6. ábra: SVM elve [5]

Ez a margó akkor lesz maximális, ha a súlyvektor normája minimális, tehát az optimális súlyvektor meghatározásához az alábbi feladatot kell megoldanunk:

$$\min \frac{1}{2} w^T w$$

az alábbi feltétel teljesülése mellett:

$$y_i(w^T x_i + b) \geq 1 \quad (i = 1, 2, \dots, n)$$

ahol:

- y_i – a tanulóponatok osztálycímkéje;
- n – a tanulóponatok száma.

Ennek a feltételes szélsőérték-keresési feladatnak a megoldását Lagrange egyenlet segítségével adhatjuk meg. A megfelelő deriváltak eredményét behelyettesítve a Lagrange egyenletbe kapjuk a duális alakot:

$$\max \sum_{i=0}^n a_i - \frac{1}{2} \sum_{i=0}^n \sum_{j=1}^n a_i a_j y_i y_j x_i^T x_j$$

az alábbi feltételek mellett:

$$\sum_{i=0}^n a_i y_i = 0 \quad \text{és} \quad a_i \geq 0 \quad (i = 1, 2, \dots, n)$$

ahol a_i -k a Lagrange multiplikátorok. A feladatot kvadratikus programozással megoldva kapjuk meg az optimális Lagrange multiplikátorokat, melyek nagy része általában nullával egyenlő. Emiatt a megoldás kialakításában a tanulópontoknak csak egy része fog részt venni azok a pontok, melyekhez nem nulla értékű Lagrange együtthatók tartoznak. Ezeket a pontokat nevezzük tartóvektoroknak (support vectors). A tartóvektorok felhasználásával az optimális súlyvektor

$$w^* = \sum_{i \in SV} a_i y_i x_i$$

ahol SV a tartóvektorok indexeit tartalmazó halmaz; az optimális eltolás érték pedig bármelyik tartóvektor felhasználásával a

$$b^* = y - w^{*T} x$$

összefüggésekkel számítható. Az optimális eredményeket felhasználva a kétosztályos lineáris osztályozó gép válasza egy tetszőleges z pontra az alábbi alakban írható fel:

$$y(z) = \text{sgn}\left(\sum_{i \in SV} w^{*T} z + b\right)$$

Ha a tanulópontok lineárisan nem szeparálhatók hiba nélkül, akkor az osztályozást úgy lehet végrehajtani, hogy az osztályozás margóját ún. lágymargóként kezeljük, azaz megengedjük, hogy tanulópontok a margón belülre, illetve rossz oldalra is kerülhessenek. Ebben az esetben ξ_i gyengítő változók (slack variables) bevezetésével az

$$y_i(w^T x_i + b) \geq 1 - \xi_i \quad \text{és} \quad \xi_i \geq 0 \quad (i = 1, 2, \dots, n)$$

feltételek teljesülését követeljük meg. Az optimális hipersík meghatározását ekkor úgy kell elvégezni, hogy a hibásan osztályozott pontok száma minimális legyen, ezért a primál alak

$$\min \frac{1}{2} \cdot w^T \cdot w + C \cdot \sum_{i=1}^n \xi_i$$

alakra változik, ahol C a két tag közötti kompromisszumot beállító tényező (büntető paraméter). A duál alak ebben az esetben is megegyezik a korábban megadottal, csupán az együtthatókra vonatkozó feltétel második része kiegészül egy C felső korláttal. A lágymargó az osztályozó választását sem befolyásolja, az eredmény megegyezik a lineáris osztályozó válaszával.

A megoldandó példáinkban a feladat a bemeneti térben még lágymargó alkalmazásával sem oldható meg lineárisan. A lehetséges megoldáshoz keresnünk kell egy olyan többnyire magasabb dimenziójú teret, melyben a pontok lineárisan szeparálhatóak. Ehhez egy

$x \rightarrow \varphi(x)$ nem lineáris transzformációval a pontokat ebbe a térbe (tulajdonságok tere) kell transzformálni, és a szeparáló sík keresését ebben a térben kell elvégezni. Így az osztályozó válasza a tulajdonságok terében az alábbi alakban írható fel

$$y(z) = \text{sgn} \left(\sum_{i \in SV} \alpha_i y_i \varphi(x_i) \varphi(z) + b^* \right)$$

A megfelelő transzformációs függvény meghatározása azonban nehéz feladat, sőt bizonyos esetekben szinte lehetetlen. Itt alkalmazható az ún. kernel trükk (kernel trick), azaz ezt a belső szorzatot helyettesíthetjük egy olyan megfelelően választott magfüggvénnyel (kernel függvénnyel), mely a kernel térben generálja ezt a belső szorzatot. Így az osztályozó kerneltérbeli válasza:

$$y(z) = \text{sgn} \left(\sum_{i \in SV} \alpha_i y_i K(x_i, z) + b^* \right)$$

Egy függvényt akkor tekintünk kernel függvénynek, ha kielégíti a Mercer tétel feltételeit. Kernel függvényekből számtalan létezik, sőt különböző műveletekkel az alapfüggvényekből további érvényes kernel függvények származtathatók. Példáinkban a leggyakrabban használt Gauss kernelt a radiális bázisfüggvényt (RBF, Radial Basis Function) fogjuk használni, melynek alakja:

$$K(x_i, x) = \exp(-\gamma \|x_i - x\|^2)$$

10 REZGÉSDIAGNOSZTIKA SZEREPE A JAVÍTÁS ELŐTTI ÁLLAPOTFELMÉRÉSBEN

10.1 Csapágyak állapotfelmérése javítás előtt

Javítástechnológiai szempontból fontos szerepet töltenek be a csapágyak a gépészmérnöki gyakorlatban. Beszélhetünk gyártásból eredő csapágyhibákról, illetve kopásból, elhasználódásból eredő hibákról. Gyártásból eredő hibák: külső- és belső gyűrű mérethibák, görgő mérethiba, esztergálási hibák, beköszörülés, felületi minőségi hiba, ovalítás hiba, hiányzó görgő, fordított görgő, hőkezelési hiba, konzerválási hiba, helytelen kezelésből és raktározásból eredő hibák.[5]

Az adhéziós kopás a tényleges érintkezési felületen kialakuló adhéziós kapcsolatok elszakadásakor létrejövő anyagvesztés. Az atomos-molekuláris kapcsolatok elszakadnak, majd anyagátvitel keletkezik, az érintkező felületek felszíni rétegének szilárdsága megnövekszik a belső anyagrészekéhez képest, és az elnyíródást szenved a kisebb szilárdságú anyag. Megjelenési formái: berágódás, lyukak, pikkely, anyagátvitel, anyagkiszakadás.

Az abrázíós kopás során a kemény szemcse (pl. csapágyolajban lévő fémforgács) barázdát eredményez és a barázdából kiváló rész kopási részecske formájában leválik. Rideg anyagok esetében fokozott az abrázíós kopás, mint képlékeny anyagoknál. Megjelenési formái: rovátkolódás, kaparási nyom, vajat, hullámok, kráter.

Az abrázíós (csiszoló) kopás akkor fordul elő, ha kemény durva felület csúszik a lágyabb felületen. Az ASTM International Agency meghatározta, hogy anyagvesztésnek köszönhetően kemény részecskék vagy kemény kidudorodások, amelyek kényszerítik és mozognak egy szilárd felületen.

A csiszoló kopás általában a kontaktus típusa és az érintkezési környezet szerint osztályozható. A felületek érintkezési típusa határozza meg a csiszoló kopás módját. A csiszoló kopás két módja két testnek és három test kopásnak ismert. Két test kopás akkor jelentkezik, amikor a szemcsék vagy a kemény részecskék eltávolítják az anyagot az ellenkező felületről. A közös analógia az, hogy az anyagot levágják vagy elforgatják vágó vagy szántó művelettel. A három test kopása akkor következik be, ha a részecskék nincsenek korlátozva, és szabadon gördülnek és csúsznak le a felületen. Az érintkezési környezet határozza meg, hogy a kopás nyílt vagy zárt állapotban van-e. Nyitott érintkezési környezet akkor fordul elő, ha a felületek megfelelően eltolódnak egymástól.

Számos olyan tényező létezik, amely befolyásolja a kopás kopását és így az anyageltávolítás módját. Számos különböző mechanizmust javasoltak annak leírására, hogy milyen módon távolítják el az anyagot.

Az abrázíó akkor következik be, amikor az anyag oldalra kerül, a kopási részecskéktől távolodva, ami olyan hornyok kialakulását eredményezi, amelyek nem tartalmazznak közvetlen anyageltávolítást. Az eltolódott anyag a hornyokkal szomszédos gerinceket képez, amelyek a csiszolószemcsék későbbi áthaladásával eltávolíthatók. Töredezetség akkor következik be, amikor az anyagot vágási eljárással elválasztják a felületről, és a behúzódó csiszolóanyag a kopásálló anyag helyi repedését okozza. Ezek a repedések

ezután szabadon terjednek a kopási horony körül, ami további anyag eltávolítását eredményezi.

Felszíni kifáradás az anyagfáradás egyik fajtája. Fáradt kopás keletkezik, amikor a kopási részecskéket eltávolítják a felületen lévő mikroméretű felületrészek ciklikus repedés-növekedése. Ezek a mikrolemezek vagy felületi repedések vagy felszín alatti repedések.

A fáradásos kopást ismétlődő, ciklikus mechanikai igénybevételek okozzák. Fáradásos kopás során kifáradás, repedésképződés, repedésterjedés lép fel, amely anyaghámlást okoz. A fáradásos kopási mechanizmus száraz és vegyes súrlódási állapotban fordul elő. Fáradásos kopást okozó repedések a felszínen és felszín alatt keletkezhetnek. A felületi hibákból a súrlódás hatására repedések indulnak az anyag belseje felé, rontva annak belső mechanikai szilárdságát. A korróziós kölcsönhatások növelik a fáradásos kopás sebességét.

A fretting kopás:

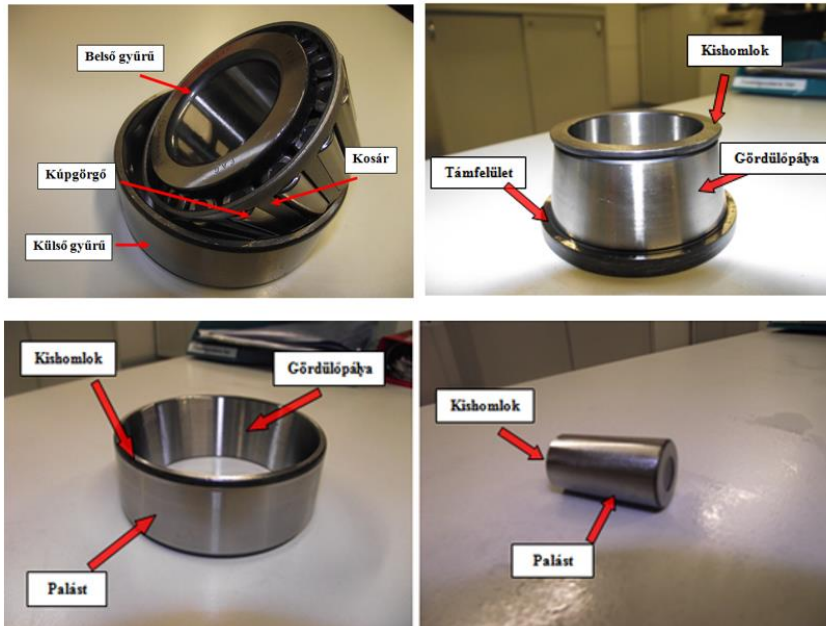
A fretting kopás a két felület közötti ismételt ciklikus kopás. A fretting eltávolítja az anyagot az egyik vagy mindkét érintkező felületről. Általában a csapágyaknál fordul elő, jóllehet a legtöbb csapágy felülete keményedik, hogy ellenálljon a problémának. A felszínen repedések keletkeznek, vagyis kifáradás lép fel. Egy kapcsolódó probléma az oxidáció megjelenése. Az oxidok általában keményebbek az alatta lévő fémnél, így a kopás felgyorsul, mivel a keményebb részecskék tovább súrolják a fémfelületeket.

Eróziós kopás:

Az eróziós kopás rendkívül rövid csúszó mozgásként írható le. Az eróziós kopást a szilárd vagy folyadék részecskéknek az objektum felszínére gyakorolt hatása okozza. Az ütköző részecskék fokozatosan eltávolítják az anyagot a felszínről és ezzel kopást idéznek elő.

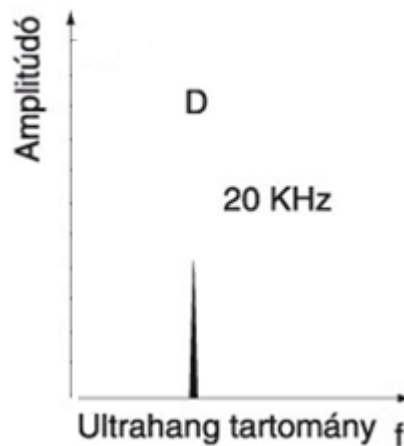
Az eróziós kopás sebessége számos tényezőtől függ. A részecskék anyagjellemzői, mint például alakjuk, keménységük, ütközési sebességük és ütközési szögük, az alapanyag, valamint a lecsapódó felület tulajdonságai. Az ütközés szöge az egyik legfontosabb tényező, és széles körben ismeretes a szakirodalomban.

A felsorolt gyártási- és kopási hibák javítás előtti módszere a jellemző hibafrekvenciák feltárása, amelyek numerikus úton meghatározhatók, mint: külső gyűrű hibafrekvencia (BPFO), belső gyűrű hibafrekvencia (BPFO), gördülőelem hibafrekvencia (BPFO), kosár hibafrekvencia (FTF).



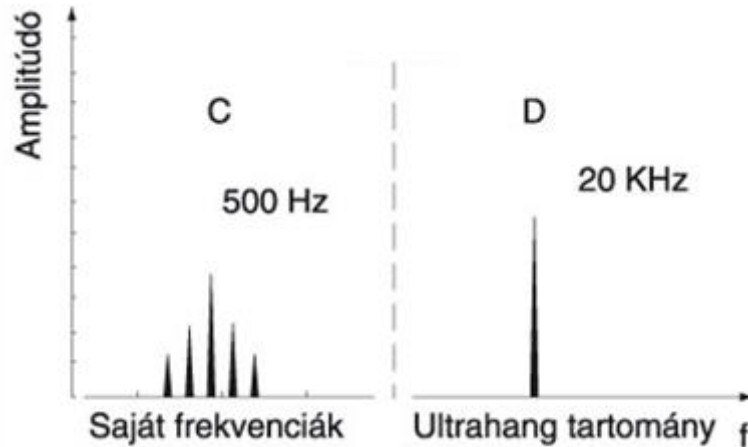
10.1. ábra: A kúpgörgős csapágy részei és megnevezése [5]

A csapágykopás első jelei (10.2. ábra) az ultrahang tartományban jelentkeznek, vagy a 20 kHz feletti, emberi fül számára már nem hallható tartományban.



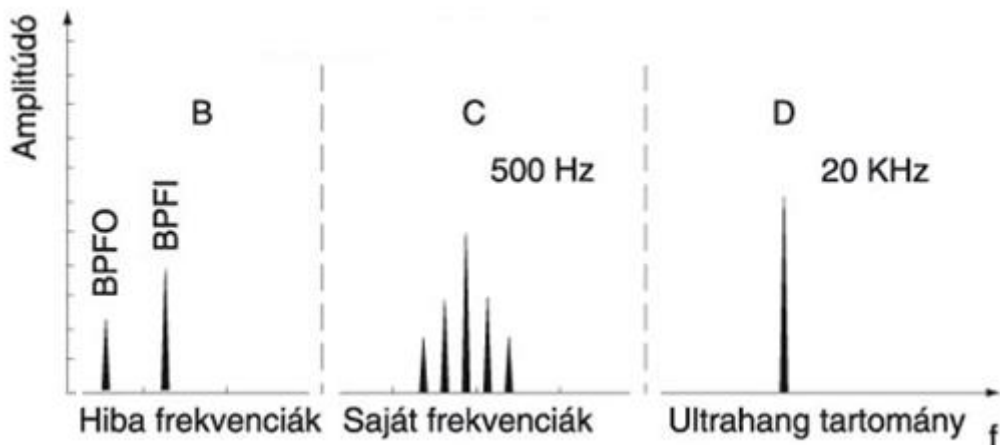
10.2. ábra: A csapágyhiba frekvenciák a meghibásodás 1. stádiumában

A csapágy második meghibásodási szakaszában (10.3. ábra) kis méretű gödrök (pitting) jelennek meg a csapágy alkotóelemein. Üzem közben szélessávú amplitúdómodulált gerjesztés jelenik meg a csapágyban, amelyeket diagnosztizálni lehet és a csapágy komponenseinek sajátfrekvenciáit gerjeszti. Rezgésamplitúdó növekedés lép fel az 500 Hz – 20 kHz tartományban, ezzel párhuzamosan diagnosztizálhatók az oldalsáv frekvenciák az amplitúdó moduláció következtében.



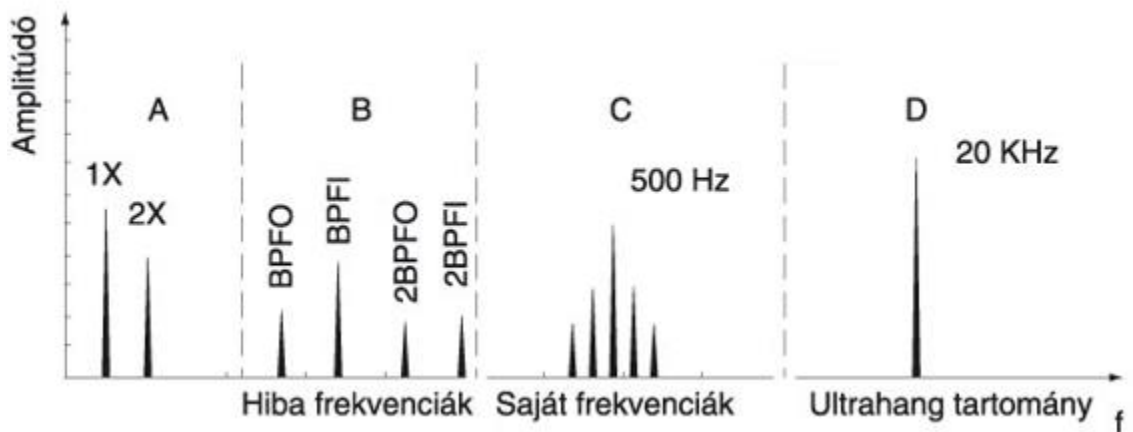
10.3. ábra: A csapágyhiba frekvenciák a meghibásodás 2. stádiumában

A csapágykopás miatt a hibafrekvenciák alsóbb tartományok felé tolódnak és már az üzemi frekvencia felett, tipikus BPFO, BPFI tartományokban is rezgések jelennek meg, amelyek a csapágy irreverzibilis károsodására utalnak (10.4. ábra). A csapágyat szétszerelve ekkor már szemmel is észlelhető hibák keletkeznek a külső- és belső gyűrűkön.



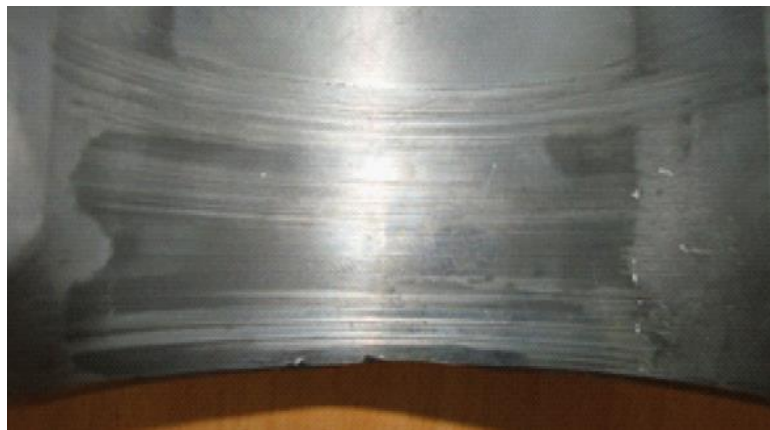
10.4. ábra: A csapágyhiba frekvenciák a meghibásodás 3. stádiumában

A következő szakaszban jellegzetes akusztikai zajjal társulva megjelennek az üzemeltetési frekvencia körüli és annak többszörösei frekvenciákat tartalmazó hibák (10.5. ábra). Gépjárművek esetében tipikus zörgési és bűgési jelenségek utalnak a csapágy károsodására. A csapágyat szétszerelve egyértelművé válik a kipikkelyesedés, alak- és méretdeformáció.



10.5. ábra: A csapágyhiba frekvenciák a meghibásodás 4. stádiumában

A további állapotromlást mutatja az oldalsáv frekvenciák megjelenése a rezgési spektrumban. (10.6. ábra) Az üzemeltetési hőmérséklet gyakran eléri a 120 Celsius fokot is, amely a csapágy kenési állapotát tovább rontja, javasolt a termoelemekkel és hőkamerával történő diagnosztika. Az itt leírt jelenségekkel párhuzamosan a sajátfrekvenciák és az ultrahang tartományokban további és fokozott rezgésamplitúdó növekedés tapasztalható.



10.6. ábra: A csapágyhiba 5. stádiumában tipikus kopásképe

A csapágy tönkremenetelét egyértelműen jelzi az alkatrészeinek törése és maradó deformációja, a kosár eltörik, a gördülőelemek kieshetnek, feltorlódnak, a termikus hatások következtében beégés, és helyi hegedések lépnek fel, amelynek következtében a csapágy véglegesen tönkremegy. A balesetveszély csökkentése érdekében az ilyen csapágyat üzemeltetni tilos!



10.7. ábra: A csapágyhiba 6. stádiumában tipikus kopásképe

Siklócsapágy hibák:

Tipikus jelenség a siklócsapágyaknál az ún. olajfilmrezonancia. Kiemelkedő csúcsok jelennek meg a 0,4-0,5-szörös alapfrekvenciák között. Fontos a kenőanyag cirkuláció csökkentése és az egész gép merevségének növelése. Siklócsapágyak hézagproblémái során kiemelkedő amplitúdójú harmonikusok jelennek meg a tengelyre merőlegesen rezgés spektrumában. A csapágylazulás tipikus ismertetőjegye a 0,5-szörös alapfrekvencia harmonikusok megjelenése, amely a laza megfogását és elforgását jelzi a csapágyházban. Másik tipikus probléma a kenési hiányosságokkal, a súrlódás növekedésével kapcsolatos, amely során megjelennek az 1-szeres alapfrekvencia és a fél-harmonikusok a rezgésspektrumában. Ez esetben még a csapágy megfelelő beavatkozással javítható, cseréje nem szükséges.

10.2 Fogaskerék hajtóművek hibái

A hajtásokban a tipikus frekvenciák a fogkapcsolódási frekvencia és az együtt járási frekvencia.

A hajtóművek összetett és komplex egységek, ezért nehéz a csapágyhiba és a fogaskerékhiba szétválasztása. Adhéziós, abrációs kopás, valamint fretting kopás is együttesen fellép, ami bonyolítja a javítás előtti állapotfeltárást. Kopás esetén fogaskerék áttételi frekvencián (a fogsorszám és az üzemi fordulatszám szorzata) alakul ki rezgéscsúcs, amplitúdónövekedés és oldalsáv megjelenés lép fel. Fogtörés esetén egyoldalsávú SSB spektrum tapasztalható 1-szeres frekvencián. Ellenőrizni kell a foghézag megfelelőséget, amely szintén 1-szeres körüli amplitúdót jelent keskenyebb oldalsávokkal.

10.3 Áramlástechnikai gépek hibái

A radiális ventilátorok közül az előrehajló lapátozású kisebb méretben, de rosszabb hatásfokkal képes előállítani ugyanakkora nyomást, mint a hátrahajló lapátozású, főleg ha hibás lapátozással rendelkeznek. Gépjavítás szempontjából fontos a lapát szögének, görbületének, felületi egyenetlenségének vizsgálata optikai és rezgésdiagnosztikai módszerekkel.

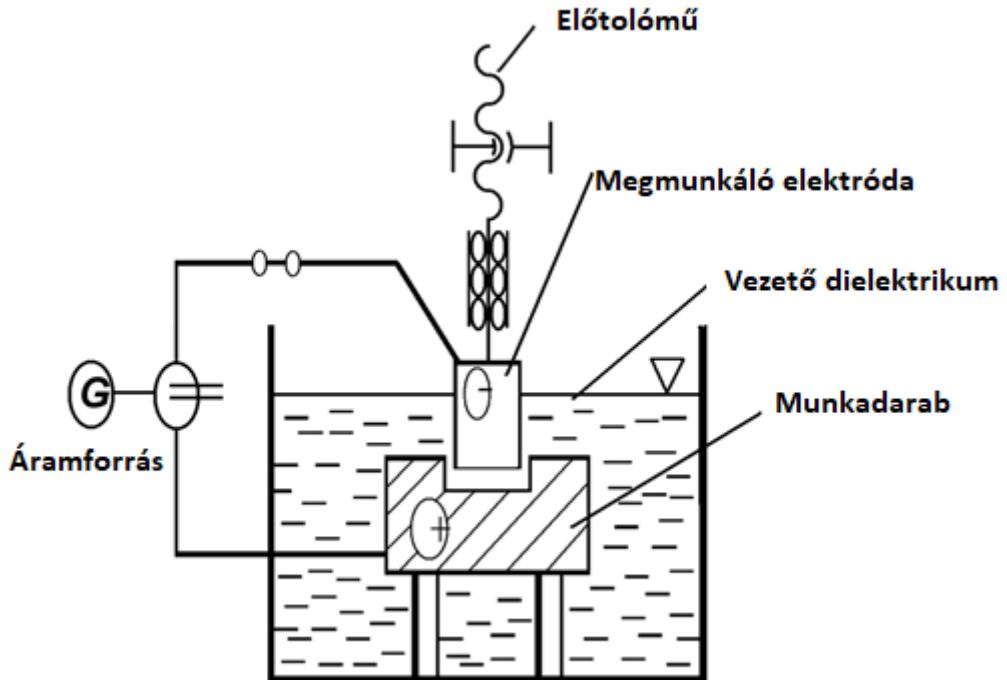
Folyadékokat szállító gépeknél gyakori jelenség a kavitáció, amely akkor következik be, ha egy anyag folyadék fázisból hirtelen gáz fázisba megy át a nyomás esése következtében. Ha egy nagy nyomású folyadékban hirtelen nyomáscsökkenés következik be, az anyag gyakorlatilag szétszakad. Belső folytonossága megszűnik, hézagok, rések keletkeznek benne a pillanatnyi mozgási viszonyoknak megfelelően, a rendelkezésükre álló teret nagyjából egyenletesen kitöltve cseppekre robbannak szét. A buborékok összeomlása gyorsan előáll, és egy apró, csattanó hanggal jár. Ez gyakorlatilag a folyadékmolekulák összeütközésének zaja (csobogás), ami nagy mennyiségben ropogó, pattogó, illetve dübörgő hangot kelt a közegben. A buborékok összeroppanása fényjelenséggel is jár, infravörös, ultraibolya, röntgen, gamma és rádiósugárzás is keletkezik és neutronsugárzás, amely pár centiméter megtétele után elnyelődik. Centrifugális szivattyúkban, hajócsavarok és vízturbinák környezetében fokozott eróziót okoz a forgó lapátokon. Rezgésekkel, kopogásszerű hanggal jár, a legkeményebb anyagokban is kopást, pittingesedést idéz elő. A kavitáció nagyfrekvenciás rezgéseket kelt 36-szoros és 40-szeres frekvenciatartományok között.[4]

11 GÉPALKATRÉSZEK FELÚJÍTÁSA KORSZERŰ MEGMUNKÁLÁSI TECHNOLÓGIÁKKA

11.1 Szikraforgácsolás szerepe a javítástechnológiában

Azt a folyamatot, amely során a munkadarab, valamint az elektróda között az anyagi részecskéket szabályozott elektromos ívkisülések folyamata távolítja el a munkadarabról szikraforgácsolásnak nevezzük. Az anyagot eltávolítjuk a munkadarabból egy sor, gyorsan ismétlődő elektromos impulzussal két elektród között, dielektromos folyadékkal elválasztva, és elektromos feszültséget táplálva a rendszerbe. Az egyik elektródot szerszámelektrodnak nevezik, vagy egyszerűen az "eszköz" vagy "elektród", míg a másik munkadarab-elektrodát, vagy "munkadarabot". A folyamat attól függ, hogy a szerszám és a munkadarab ténylegesen nem érintkezik-e.

Amikor a két elektróda közötti feszültség megnövekedik, az elektróda térfogatának intenzitása az elektródák között nagyobb lesz, mint a dielektrikum (legalábbis bizonyos helyeken) erőssége, amely lebomlik, lehetővé téve az áram áramlását a két elektród között. Ez a jelenség ugyanaz, mint a kondenzátor (kondenzátor) lebomlása (lásd még a leállási feszültséget). Ennek eredményeképpen az anyagot eltávolítják az elektródákból. Ha az áram megáll (vagy leáll, a generátor típusától függően), az új folyadék dielektrikumot rendszerint átviszik az elektróda térfogatába, lehetővé téve a szilárd részecskék (törmelék) elvezetését és a szigetelő tulajdonságok megtartását helyreállt. Az új folyadék dielektrikum hozzáadása az elektróda térfogatában általában "öblítésnek" nevezzük. Továbbá áram áramlását követően az elektródák közötti potenciálkülönbség visszaáll a bontás előtt, így új folyadék-dielektromos meghibásodás fordulhat elő. [1]



11.1. ábra: A szikraforgácsolás elve

Tömbös szikraforgácsolás:

Harold Stark, Victor Harding és Jack Beaver kutatók fejlesztették ki egy EDM szikraforgácsoló gépet a meghibásodott fúrók és csapok eltávolítására. Kezdetben kis hatásfokú gépek készültek, amelyek alkalmatlanok voltak ipari célra. A későbbi gépek a tervezésük alapján vákuumcsöves áramköröket használtak, amelyek másodpercenként több ezer szikrát tudtak előállítani, ezzel jelentősen növelve a vágási sebességet. A forgácsolást a munkadarabon egy korábban már formára munkált tömb alakú szerszám hajtja végre. Ebben az esetben a megmunkáló szerszám anyaga lehet grafit, vagy pedig vörösréz, esetleg volfrám a keményfémek esetében. A tömbös szikraforgácsolásnál leginkább magas lobbanáspontú ásványi, vagy pedig szintetikus dielektrium olajat használnak. A megmunkálási idő beállítása meghatározza a szikra hosszát vagy időtartamát. Ezért hosszabb időn keresztül mélyebb üreg keletkezik az adott szikra és az azt követő szikrák számára a ciklus számára, ami keményebb felületet teremt a munkadarabon. A fordított igaz az időben rövidebb időre. A kikapcsolási idő a két szikra közötti idő. Ezeket a beállításokat mikroszekundumokban mérhetők.

Huzalos szikraforgácsolás:

A huzalos típusú gép az 1960-as években keletkezett a szerszámok (szerszámok) megmunkálásához edzett acélból. A szerszámelektrod az EDM vezetékben egyszerűen egy huzal. Annak elkerülése érdekében, hogy a huzal szakadását elkerüljék, a huzalt két orsó között kell feltekerni, így a vezeték aktív része folyamatosan változik. A legkorábbi

numerikus vezérlésű (NC) gépek a lyukasztásos függőleges marógépek konverziói voltak. Az eljárás nevéből is jól látható, hogy ezt a technológiát huzallal végzik, és leginkább síkbeli alakzatok megmunkálásához. Az esetek többségében ez a huzal sárgarézből készül, viszont alkalmas lehet még más különböző bevonattal készült huzal is, amelynek vastagsága 0,02-től 0,33 mm-ig terjedhet. Általában ioncserélt vizet használnak dielektrikumnak. A folyamat során a munkadarabot egy különleges huzallal vágják, amely folyamán egy előre kijelölt pályát jár be a huzal.

Tehát a huzalos villamos szikraforgácsoló megmunkálásnál (WEDM), amelyet drótvágott EDM-nek és huzalvágásnak is neveznek, egy vékony egyszálú fémhuzalt vezetnek a munkadarabon keresztül, amelyet dielektromos folyadék tartályába merítettek, jellemzően deionizált vízbe. A drótvágott EDM-t tipikusan 300 mm vastag lemezek vágására használják, és olyan keményfémekből álló lyukasztókat, szerszámokat és vágószerkezeteket készítenek, amelyeket más módszerekkel nehéz megmunkálni. A tekeresből folyamatosan táplált drótot a felső és az alsó gyémántvezetők között tartják. A vezetők, általában CNC vezérlésűek, az x-y síkban mozognak. A legtöbb gépen a felső vezető egy különálló tengelyen is önállóan mozoghat, ami lehetővé teszi a kúpos és átmenő formák (kör alakú alsó, négyzet alakú tetején) vágását. Ez lehetővé teszi a drótvágott EDM gép programozását a nagyon bonyolult és finom formák vágására. A felső és az alsó gyémántvezetők általában 0,004 mm pontosságúak, és 0,012 mm huzallal vágható vágópálya vagy 0,021 mm lehet.



11.2. ábra: A szikraforgácsolás feljavított munkadarab [11]

Az EDM előnyei:

- Komplex formák gyárthatók, amelyek egyébként nehéz lenne hagyományos vágóeszközökkel előállítani.
- Rendkívül kemény anyag nagyon finom tűréssel is megmunkálható.
- A szerszám és a munkadarab között nincs közvetlen kapcsolat. Ezért a finom részeket és a gyenge anyagokat észrevehető torzítás nélkül meg lehet munkálni.

- Jó felületi minőséget lehet megvalósítani a megmunkálás során.
- Nagyon finom tűrésű furatok is előállíthatók.
- Kúpos furatok is előállíthatók.
- Cső vagy konténer belső kontúrok és belső sarkok kis lekerekítési rádiuszig kivitelezhetők.

Az EDM hátrányai:

- Az anyag eltávolításának sebessége viszonylag lassú.
- Éghető olajtartalmú dielektrikumok használatával tűzveszély áll fenn.
- A munkadarabon az éles sarkok reprodukálása nehézkes az elektród kopásának köszönhetően.
- A fajlagos energiafogyasztás magas.
- Az áramfogyasztás magas.
- A megmunkálás során számottevő a szerszám kopása.
- Az elektromosan nem vezető anyagokat csak a speciális eljárásokkal lehet megmunkálni.

11.2 Lézersugaras anyagmegmunkáló technológiák szerepe a javítástechnológiában

Az anyag megmunkálására jellemző a sugárnyaláb specialitása miatt, hogy a megmunkálás közben nem jelentkezik kopás. Az anyagmegmunkálásokban a lézernyaláb egyedi tulajdonságú szerszámnak tekintendő, amely az alábbi előnyökkel rendelkezik: [14] [17]

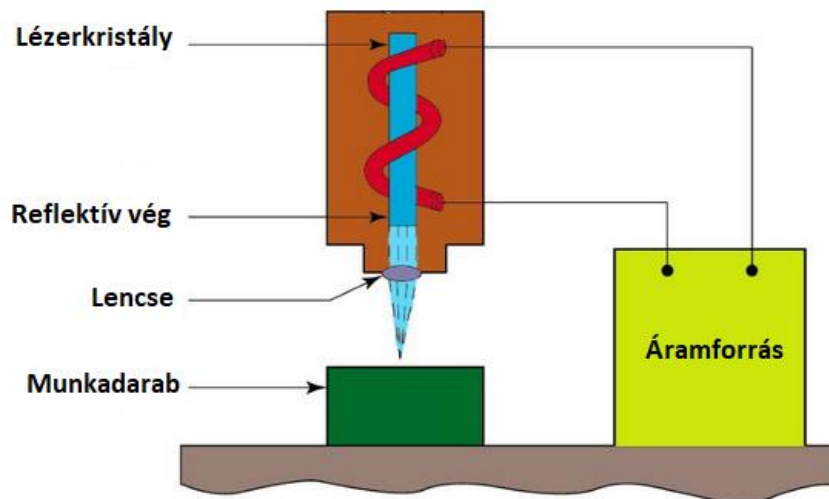
- Nagy közepes megmunkálási sebesség és kimagasló minőség
- Finomtechnológiai eljárás
- Nincs vágás erő és súrlódás, valamint szerszámkopás
- Precíziós tartománytól kezdve a durvamegmunkálásig alkalmazható.
- Kis hőhatásövezet és minimális feledződés veszély
- Automatizálhatóság és programozhatóság algoritmusok segítségével.
- Rugalmasság és adaptáció.

A gépészeti javítástechnológiai alkalmazásokban leggyakrabban az alábbi típusokat alkalmazzuk:

- Szén-dioxid lézer

- Szilárdtest lézer
- Félvezető diódalézer

A lézersugarat előállítására gerjesztéssel, tehát energia bevitellel (ami lehet fény, vagy hő) történik, megváltoztatjuk a molekulák rezgési állapotát, amely során a gerjesztett elektronok magasabb energiaszintű elektronpályára kerülnek, majd az energiakülönbségének megfelelő hullámhosszúságú fényt sugároznak ki. Az emittált fényt rezonanciával erősítjük többszörös reflexió segítségével, végül fókuszáljuk a munkadarabra.



11.3. ábra: Lézersugár előállítása

11.3 Lézeres fúrás

Lézersugaras fúrásnak sok előnye található, többek közt például az is hogy a lézersugaras fúrásnál a fúrás mélysége pontossággal szabályozható lézer impulzusonként.

Jellemzője, hogy kis keresztmetszetű furatok hozhatók létre, amely a javítástechnológiában főleg precíziós megmunkálások estén előnyös, ahol szigorú tűrések vannak. Gyakran lehetővé teszi több, egymáshoz közeli nagyszámú furatok létrehozását, amely a fémcsűrők esetén használatos előállítási technológia. Félvezető dióda alkalmazásával, vezérelt impulzusokkal mintegy 15-20 ns periódusidejű négyyszögjelekkel szénacél, titán, kerámia, szilícium lemezek is megmunkálhatók, és akár 0,075 mm besüllyesztett lyukak is képezhetőek szintén tantál lemezbe.

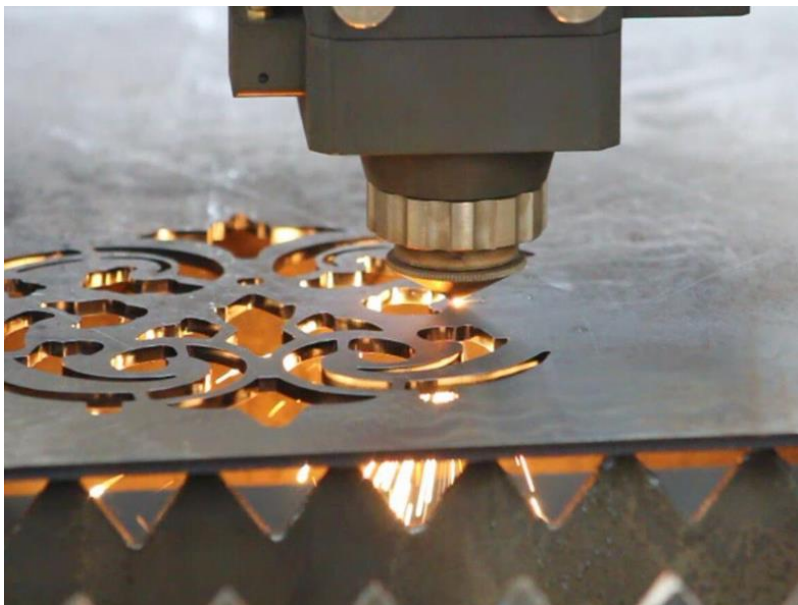


11.4. ábra: Lézerfűrés technológiája [15]

11.4 A lézersugaras vágás

A vágás folyamata technológiai szempontból hasonló a fűréshez, viszont itt megköveteljük a szerszám konstans előtoló sebességét a megmunkálás miatt. A sugárnyaláb előállítására többnyire ciklikus négyszögjel formájában történik, az előző fejezet részben említett paraméterekkel. A vágási folyamat az alábbi lépésekből épül fel:

- lézersugár abszorpciója
- hővezetés
- hőátadás és olvadás,
- a munkadarab ömledékének elpárolgása
- gőz- és olvadék-visszaáramlás.



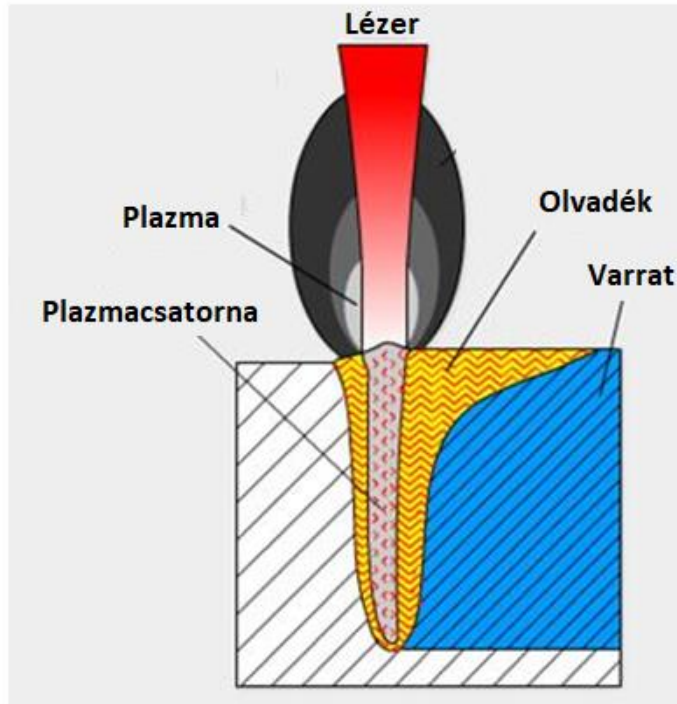
11.5. ábra: Lézervágás technológiája [16]

Technológiai szempontból az alábbi paramétereket szükséges helyesen beállítani:

- a lézernyaláb teljesítménye és teljesítménysűrűsége, Rayleigh-távolsága
- lencse fókusz távolsága
- a lézer üzemmódja, illetve az impulzusparaméterek
- a lézernyaláb fókusz távolság
- esetleges védőgáz minősége és fajlagos mennyisége
- fűvóka keresztmetszete a munkadarab vastagságának függvényében
- vágási távolság
- vágási szög
- a lézersugár polarizáltsága

11.5 A lézersugaras hegesztés

A hegesztéshez szén-dioxid, szilárdtest- vagy diódalézert alkalmaznak javítástechnológiai célra. Energetikai és fizikai jelenségek szempontjából két változata van, melyek a lézersugárnak a darab felületén kialakuló teljesítménysűrűségétől függenek. 10^6W/cm^2 -nél kisebb teljesítménysűrűség esetében a hővezetési hegesztés feltételei vannak meg (alumínium esetén a határ $\sim 4,5 * 10^6 \text{W/cm}^2$). A határ fölött – egy új fizikai jelenség következtében – a mélyvarratos hegesztés feltételei határozzák meg a technológiai folyamatot. A mélyvarratos hegesztés nagyobb beolvadási mélységet, de alacsonyabb hegesztési sebességet jelent.



11.6. ábra: Lézervágás technológiája [17]

11.6 Lézeres felületi hőkezelés

A tradicionális hőkezeléshez hasonlóan lézersugárral is megvalósítható a munkadarabok hőkezelése, amely lehet pontszerűen, vonalszerűen, felületen vagy térbeli alakzaton.

Az eljárás lényege a védőgázban történő felületötvözés, lézersugár termikus hőjének hatására, tetszőleges összetételű és mennyiségű ötvöző vagy felrakóanyag felszíni rétegekbe diffundáltatásával.

Előnyös ez a lézeres hőkezelési technika karcsú, vetemedésre hajlamos, ill. nagy tömegű alkatrészek meghatározott felületrészeinek edzésére, mivel koncentráltan lehet a hőhatást vezérelni, valamint a hőhatásövezet is elhanyagolható, tehát a maradó feszültségek, amelyek következménye a vetemedés, minimálisak lesznek.

11.7 Lézeres bevonatolás

Korrózióvédelmi céllal a gépjavítás területén számos technológia alkalmazható. Ahogy az előző fejezetrészen említettem, a felületi rétegek hő hatására történő ötvözése lézeres bevonatolása gyakorlati szempontból is jelentős. Célja elsősorban a kopásállóság növelése, amely egy vagy két fázisú folyamat. Két lépcsős folyamat során hozaganyag felvitele után történik a lézersugaras beolvasztás, amely lehetséges plazmaszórással valamint termikus eljárással. A hozaganyag felvitele történhet gáz vagy szilárd por alakjában is.

11.8 Lézeres marás

A megmunkáló eljárások finom változatának egyik lehetséges megnyilvánulása a gépészmérnöki gyakorlatban. Excimer lézerrel különböző jelamplitúdó esetén meg kell határozni a lézere maratás technológiai paramétereit száraz és nedves körülmények között. Az impulzus-lézeres száraz és nedves maratás célja a technológiai adatok optimalizálása a lézerparaméterek és a marató közeg tulajdonságainak megfelelően figyelembe véve az anizotrópiát.

11.9 Plazmával támogatott vágás

A plazmavágás segítségével lehetővé válik a korrózióálló acélok, öntöttvasak, réz, alumínium és ötvözetek termikus vágása.

A plazmavágás során nem megy végbe hő termelő folyamat, mivel a vágandó anyag nem ég el oxigénben. A vágandó részben az intenzív és erősen koncentrált plazmaív a fémeket megolvasztja, a gázok kinetikus energiája a megolvasztott fémeket a vágási résből eltávolítja.

A plazmavágás módszerét első sorban a nehéziparban szokás használni, ahol a szakember a plazmavágó segítségével termikus vágást hajthat végre, amit öntöttvas szerkezetek, korrózióálló acéllemezek, réz és alumínium vázak esetében szoktak használni.

Termikus vágás során nem történik hőtermelés, mégis hőhatás segítségével történik meg az anyagok szétválasztása, ami mentén anyagszerkezeti változás megy végbe. A plazmavágás során az anyag nem ég oxigénben, hanem úgy nevezett intenzív plazmaív keletkezik, ami segítségével történik a kettéválasztás. A plazma anyaga ionizált fémgáz és ionizált vágógáz keveréke. A plazmafelhő abszorbeálja a szén-dioxid lézersugár energiáját, és a hőtartalmát a munkadarabnak adja át.

A plazmavágás során mindez úgy történik, hogy meghatározzák a vágandó rész útját, ahova később koncentrálnak a plazmaívet és azt végigvezetve, az megolvasztja a kezelt anyagot. Ez az olvadék pedig a plazmavágó által használt gázok kinetikus energiájával lesz kivezetve a résből. A plazmával támogatott vágással a vékony lemezek esetén extrém vágási sebességeket lehet elérni. Az 1 mm-es acéllemez esetén a 40 m/min fölötti sebesség gyakori.

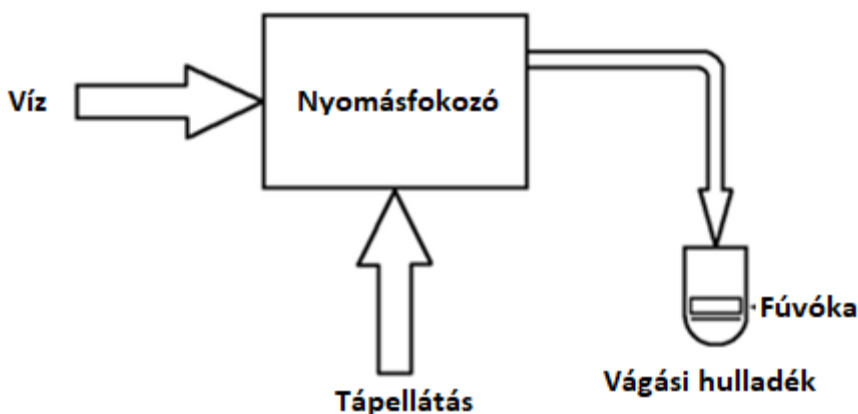
11.10 Vízugaras megmunkálás

11.10.1A vízugaras megmunkálás elve

Technológiai paramétereket illetően, nagy nyomású (kb. 3000 bar) és kis keresztmetszetű (0,15-0,18 mm) sugárral végezzük a megmunkálást, amely így szuperszonikus sebességgel (1-1,5 Mach) áramlik, és a munkadarabbal ütközve forgácsoló eljárás végez. Mint korszerű javítási technológia egyre nagyobb területen terjed el, mivel környezetvédelmi szempontból előnyös eljárás, továbbá mérnöki szempontból is precíz technológia, amellyel anyagminőségtől függetlenül végezhető el az anyagszétválasztási művelet.[17]

Az eljárás lényege, hogy egy nagy nyomású (kb. 3600 bar) és kis átmérőjű (0,1 mm) vízsugarat irányítunk a megmunkálandó anyag felületére. A sugárban levő víz szuperszonikus sebességgel áramlik, és a munkadarabbal ütközve apró anyagrészeket választ le abból.

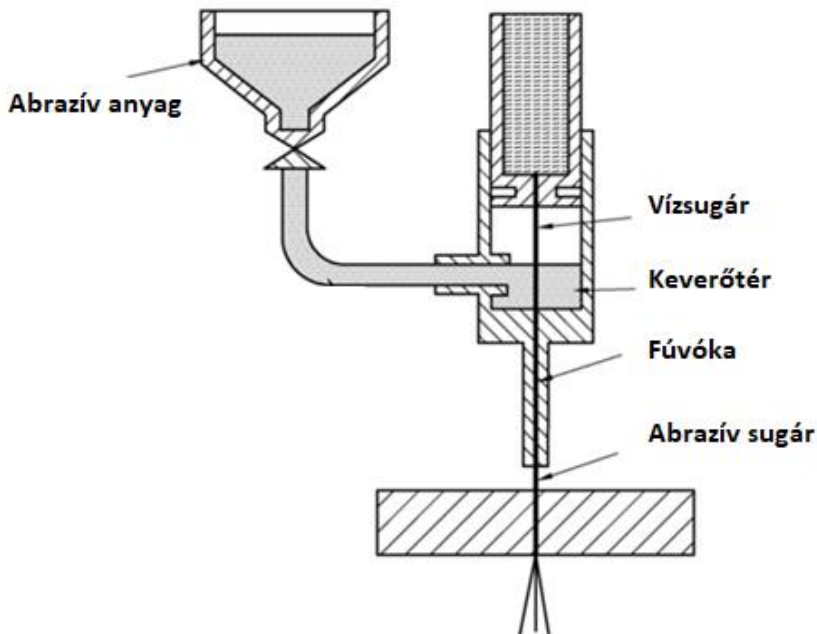
A régi, leválásra hajlamos festékrétegek eltávolítására nagyon jó lehetőség, amikor a visszamaradó régi bevonatokra az új bevonta jó tapadóképességgel felhordható. Csak az eredeti teljesen tiszta fémfelületet kaphatjuk vissza, az érdesség nem növelhető. A vízsugaras tisztítás szokások nyomása 100-1800 bar.



11.7. ábra: A vízsugaras vágás technológiája [17]

11.10.2 Abrazív vízsugaras vágás elve

Az előző eljáráshoz hasonló annyi eltéréssel, hogy nagy nyomású 3500-4500 bar abrazív anyaggal kevert, kis átmérőjű vízsugarat juttatunk a vágófejbe, amely lehetővé teszi igen kemény anyagok szétválasztását is. Az abrazív szemcsék és a munkadarab ütközése során eróziós kopás zajlik, részletesen nyírásos alakváltozás, képlékeny deformáció, repedések keletkezése, keményedés, rideg törés, az anyag helyi megolvadása történik. Az eljárás termelékenységére a víz közepesebbségével, a fúvókaátmérővel, valamint az abrazív anyag részecskenagyságával és keménységével szabályozható. A vágórés 0,8-1,2 mm közötti, a vágási távolság 7-10 mm. Fontos munkavédelmi szempont az ujjak védelme és a hallásvédelem passzív vagy aktív zajcsökkentő eljárásokkal. [17]



11.8. ábra: Az abrazív víz sugaras vágás technológiája [17]

Abrazív víz sugaras vágás jellemzői:

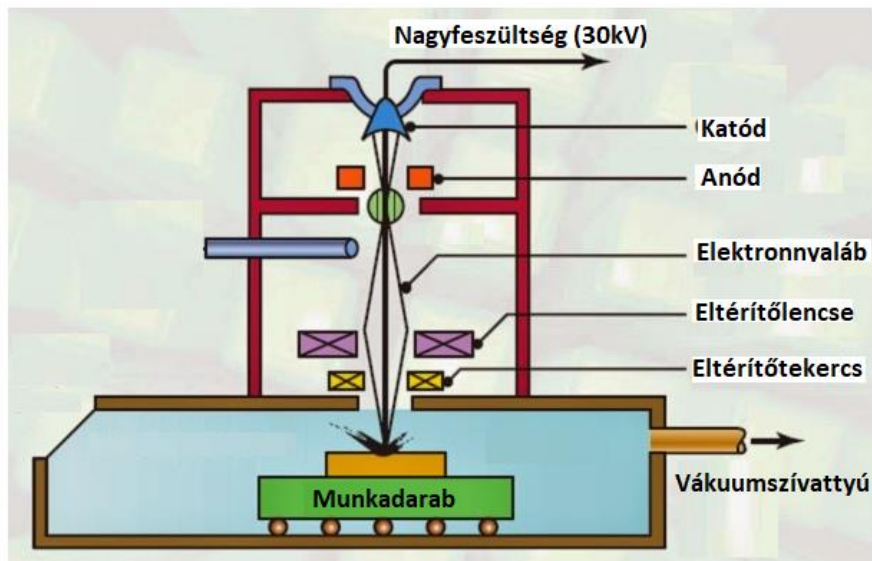
- Nagy megmunkálási precizitás, szűk tűrések realizálása.
- Jó felületminőség a vágási él mentén.
- Tetszőlegesen bonyolult alkatrészek kivághatók.
- Környezetbarát, pormentes, a por a vízben elnyelődik, végül csak a vágási emulziót kell elkülönített hulladékként kezelni.
- Minimális vágórészel, tehát elhanyagolható anyagvesztés és hulladék
- Ipari felhasználhatóság a lángvágás alternatívájaként.
- Nincs hőhatásövezet, maradó feszültség és deformáció az anyagban.

11.11 Az elektronsugaras megmunkálások szerepe a javítástechnológiában

Elektronagyú segítségével történik, volfrám, tantál katódú elektronszó elektronokat emittál, amelyek a gyorsítófeszültség felgyorsít a fénysebesség 80%-ra, majd az elektromágneses lencse fókuszálja a munkadarabra, amely mágneses gyűrűvel irányítható a munkadarab megmunkálandó felületére. **Az EBM** (electron beam machining) – elektronsugaras megmunkálás során a felületi anyagréteget megolvasztva és azt elgőzölve lehet kiváló felületi minőséget elérni.

A megmunkálás jellemzői:

- Kimagasló fajlagos teljesítménysűrűség.
- Nem folytonos energiaigényű eljárás, hanem szakaszos.
- Finom és tiszta technológia
- Az elektronnyaláb mozgási energiája az anyagba csapódáskor hővé alakul, lokális felmelegedést, a felületi réteg megolvadását és elgőzölgését okozva.
- Az elektronsugár energiájának, így a felület megolvadásának fokát programozni lehet, így a korábban, például szikraforgácsolással elkészített éles, kis méretű felületek, alkatrészek nem szenvednek deformációt.



11.9. ábra: Az elektronágyú felépítése

11.11.1 Elektronsugaras fűrés

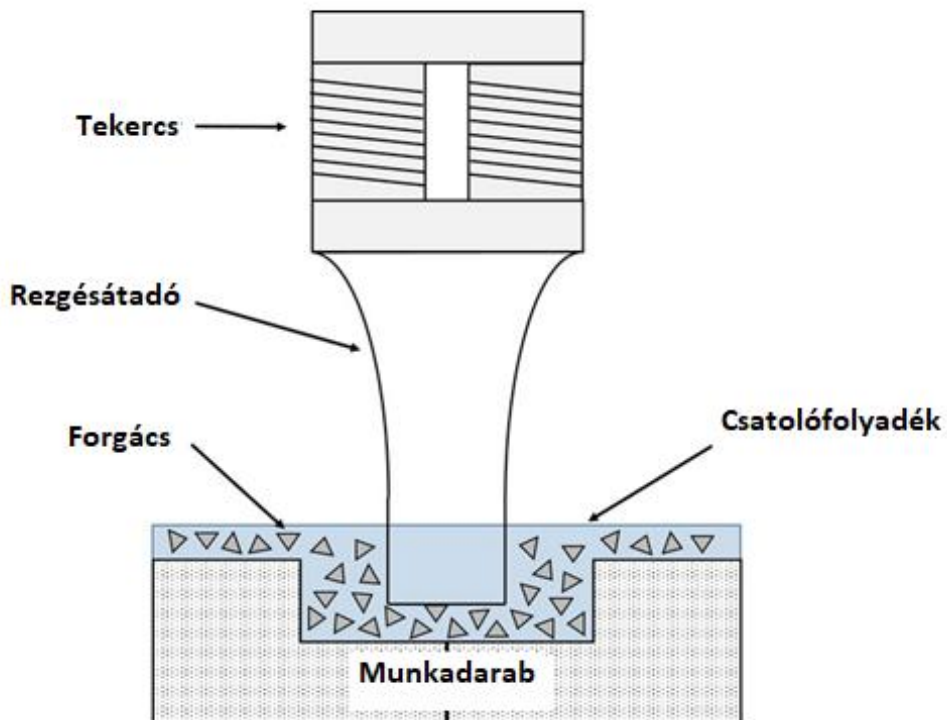
Amikor az elektronsugár behatol az anyagba, annak hőmérséklete a másodperc milliomod része alatt 1200 °C-ra emelkedik, amely a munkadarab helyi hirtelen elpárolgását eredményezi.

Az üreg belsejében kialakult nagy nyomás kipréseli az olvadékokat, lehetővé téve az elektronsugár számára, hogy a gőzökön áthatolva további anyagelpárolgás és megmunkálás történjen. Amikor az elektronsugár átfúrja a munkadarabot és elér egy ún. tartóanyagot, amelyben intenzív gázképződést eredményez, kilöveli az olvadékokat az üregből így tiszta megmunkált munkadarab jön létre reze és sorja nélkül.

11.12 Ultrahangos megmunkálások szerepe a javítástechnológiában

11.12.1 Az ultrahang előállítása

A rezgések előállítását magnetron végzi, amely elektromágneses elven működik. A hozzá rögzített fej lineáris és szakaszos mozgást végez, abrazív szemcséket juttatnak a fej és a munkadarab közzé, amely abráziós kopást eredményez. Csak a hangforrás amplitúdójától és a rezgő közeg rugalmassági paramétereitől függ a megmunkálás hatásfoka. Az ultrahangos megmunkálás céljaira a magnetosztrikciós hatás a legalkalmasabb rezgéskeltő. Magnetosztrikción azt értjük, hogy a ferromágneses rúd változó mágneses térerőben a hosszát változtatja. A koncentrátor végére erősített szerszámot meghatározott nyomással a munkafolyadékba merített munkadarabhoz nyomjuk. A szerszám axiális rezgéseket végez és alakja folyamatosan átmásolódik a munkadarabra, mikro forgácsolásszerű anyagleválasztást hoznak létre, a kisebb méretű szabad szemcsék a folyadékban tömegüknek megfelelő amplitúdójú rezgéseket végeznek és ezzel mintegy csiszolásnak vetik alá a felületet, simítanak, a nagy energiájú és sebességű rezgés hatására a folyadékban kavitáció keletkezik, amely az abráziós folyamattal együtt munkálják meg a munkadarabot így akár ultrahangos fém – és műanyaghegesztési célra is használható a gépjavításban. [17]



11.10. ábra: Az ultrahangos megmunkálógép felépítési elve

11.13 Plazmasugaras megmunkálások szerepe a javítástechnológiában

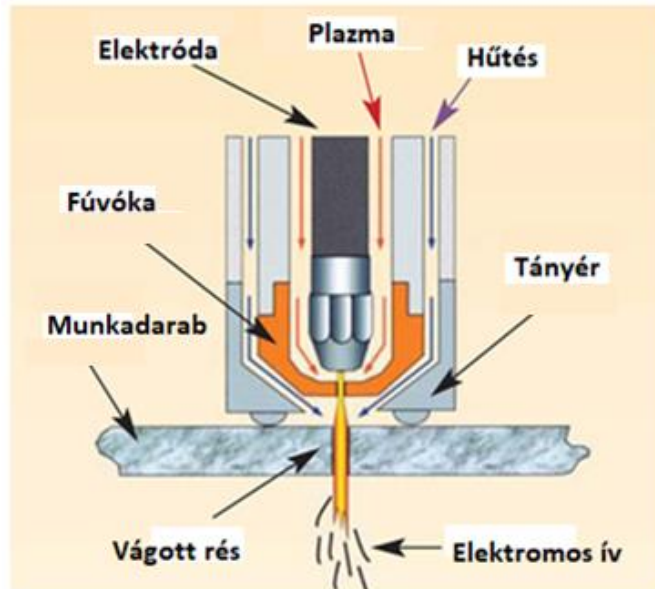
Az anyag negyedik halmazállapotát plazmának nevezzük, szabad elektronokat és pozitív részecskéket tartalmazó jó vezető, amelyet a Joule-effektus felhasználásával, hevítéssel állítanak elő. Elektromos és mágneses térrel a plazma tulajdonságai térben és időben szabályozhatók. Mivel a plazma minden esetben jóval forróbb a szilárd anyagok által kezelhető kb. 3000 foknál, ezért kezelése mágneses és ritkábban elektromos térrel történik. A plazmát alkotó elektronok és ionok nincsenek egymáshoz kötve, és különböző töltésük és tömegük miatt elektromos és mágneses tér hatására máshogy viselkednek, ami további elektromos és mágneses tér forrása. Emiatt a plazma viselkedése igen bonyolult, fizikai tulajdonságait a [magnetohidrodinamika](#) írja le. Plazmasugaras vágásnál a gáz áramlási sebességét a plazma teljesítményével és a fókuszolt átmérőjével összhangban szabályozzuk, sima felületű vágatot kapunk. Mivel a haladási sebesség nagy, a plazma széle utáni légáram intenzíven hűt is, a plazma hatása nem terjed lényegesen túl a fókuszolt átmérőjénél, ezért az anyag belsejében szövetszerkezeti átalakulásra nem kell számítani. A plazmasugár magja igen magas hőmérsékletű, elérheti a 30000 K-t.

Jelenlegi alkalmazások:

- felület tisztítása, marása,
- vágás,
- hegesztés,
- porlasztás,
- reaktív gázok aktiválása.

A plazmavágás előnye, hogy a kémiai reakciókkal járó lángvágással ellentétben a vágás sikere nem függ a vágandó anyagtól. Segítségével lehetővé válik a korrózióálló acélok, öntöttvasak, réz, alumínium és ötvözeteik termikus vágása. Vágás közben az anyag megolvad, részben elpárolog, részben a plazmasugár nagy kinetikai energiája által kisodródik a résből.

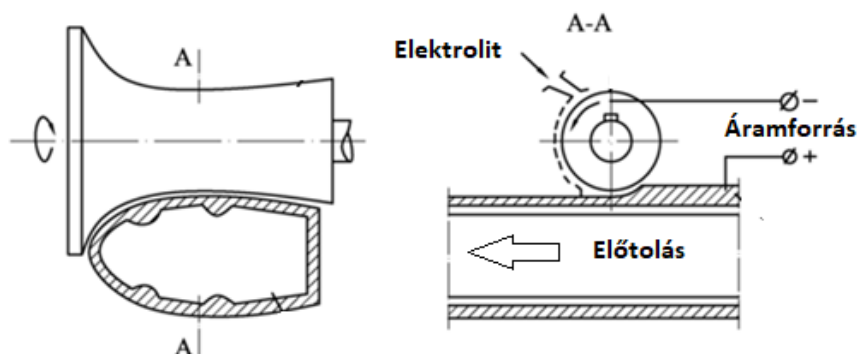
A vágandó résben a koncentrált plazma megolvasztja az alapanyagot (kb. 20.000 Celsius fok) és a gázsugár kifújja azt. A plazmavágás esetén a lángvágástól eltérően nincsenek kémiai reakciók, a plazmavágás többféle alapanyag esetén is tökéletesen alkalmazható. Két fajta plazmavágási technológiát különböztetünk meg, belső és külsőíves technológiát. A külsőíves plazmavágás esetében az anód szerepét az alapanyag tölti be, hátránya hogy vágandó alapanyagként csak fémes alapanyagok jöhetnek szóba viszont a vágási sebessége és a vágható anyagvastagság lényegesen nagyobb. Fémek közül az alumínium is kiválóan vágható, ami a hagyományos technikával körülményes. Acélszerkezetek technológiájában előnyösen használható olyan idomok kivágására, melyek összehegesztése is plazmatechnikával történik, a vágat falának simasága és pontossága miatt. Könnyen oxidálódó fémek hegesztéséhez argon védő gázt kell használni, amit külön fúvókákon juttatunk el a varrat környezetébe. [17]



11.11. ábra: A plazmasugaras megmunkálás felépítési elve

11.14 Elektrokémiai esztergálás

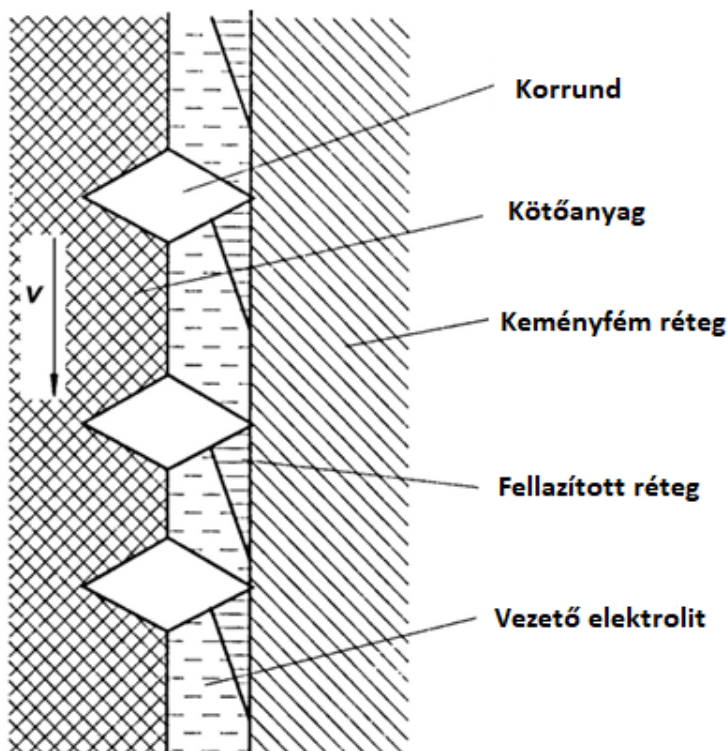
Különleges eljárásnak számít a gépészeti javítástechnológiában. A szerszámot és a munkadarabot folyamatosan áramló elektrolitba helyezik, ahol létrejön az elektrokémiai esztergálás. A munkadarabon és a szerszámon feszülteséget hoznak létre. A megmunkálás sebessége a feszülteséssel és az adott munkadarabon folyó árammal szabályozható. A főmozgást a munkadarab végzi, a mellémozgásokat a szerszám. Ún. anódikus oldás hatására a szerszám alakja átmásolódik a munkadarabba, így kialakítva a kívánt formát. [17]



11.12. ábra: Az elektrokémiai esztergálás elve [17]

11.15 Elizálás (elektrokémiai köszörülés)

Az eljárás magában foglalja az anódos oldás és jóval kisebb mértékben az abrazív megmunkálásokat. Elizálás megmunkáló szerszáma egy forgómozgást végző fémkötésű, gyémántszemcsés köszörűkorong, amely megmunkálás közben forgó mozgást végez. A korong és a munkadarab közötti munkatérbe vezető elektrolitot juttatnak. AZ átlagos feszültségesés értéke 5..18 V, megmunkálási áramsűrűség 80...300 A/cm² áramsűrűség jön létre. Elmondható, hogy 90-95%-ban az anódos oldódás hozza létre a munkadarab forgácsoló megmunkálását.



11.13. ábra: Az elektrokémiai köszörülés elve [20]

11.16 Az elektrokémiai fúrás

Az eljárás lényege az egyenfeszültséggel történő megmunkálás, amely során pozitív anód és negatív katód jön létre. A pozitív anód reakcióba lép az elektrolit negatív ionjaival. Fémcsók keletkeznek, amelyek az elektrolitban feloldódnak. Az eljárást kis átmérőjű (0,1-0,2 mm) furatok létrahozásához használjuk a javítástechnológiában. A fémeket nem szabad, hogy az alkalmazott elektrolit vegyi szempontból megtámadja, vele kémiai reakcióba lépjen.

11.17 Elektrokémiai polírozás

Az eljárás célja a felületminőség nagyméretű javulása, itt a szerszám alakja nem követi a munkadarab alakját. A munkadarab az anód, tehát pozitív polaritású, az áram megkezdzi az anódikus oldást. Az áram az érdességi csúcsokon a legnagyobb, a negatív csúcsokat elektrolitból a képződő sófilm passziválja, amely során a felület felületi érdessége javul. Az egyenáram segítségével, a specifikus elektrolitban az anódként kapcsolt munkadarab felületéről fémet hordunk le. Az eljárás során kizárólag saválló (nem mágnesezhető) darabok polírozása végezhető el.

Jellemzője, hogy elektrolitikusan polírozott felület jó korrózióállóságú, felületi repedésektől és maradó feszültségektől mentes, sima felület. [17] Az elektrokémiai polírozás csak a felületi egyenetlenségek csökkentésére alkalmas, nagyméretű egyenetlenségek lemunkálására nem alkalmas. Az érdesség legfeljebb 3-4 minőségi fokozattal csökkenthető, tehát durva, rossz felületi minőségű munkadarabok eredményesen a kívánt cél érdekében nem munkálthatók meg.

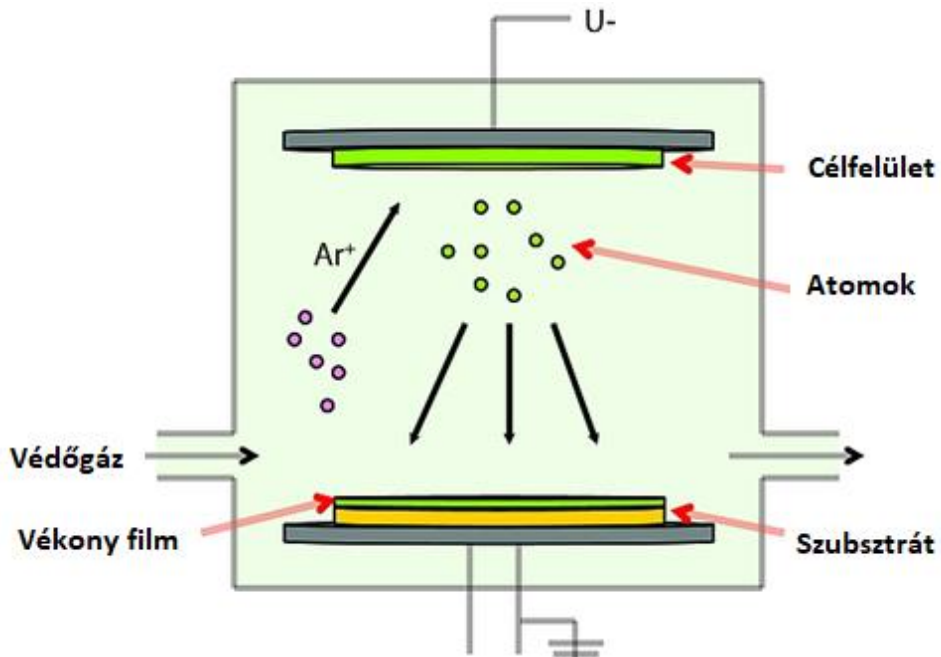
Az elektropolírozás előnyei:

- Korrózió védelemi szerepe jelentős.
- Felületpassziválást végez.
- Csökkenti a súrlódást.
- Csökkenti a felület mechanikai feszültségét.
- Ferromágneses tulajdonságok javulása.
- Összetett geometriájú munkadarabok polírozása lehetséges.

11.18 Bevonatolási eljárások: PVD és CVD szerepe a javítástechnológiában

11.18.1A PVD eljárás

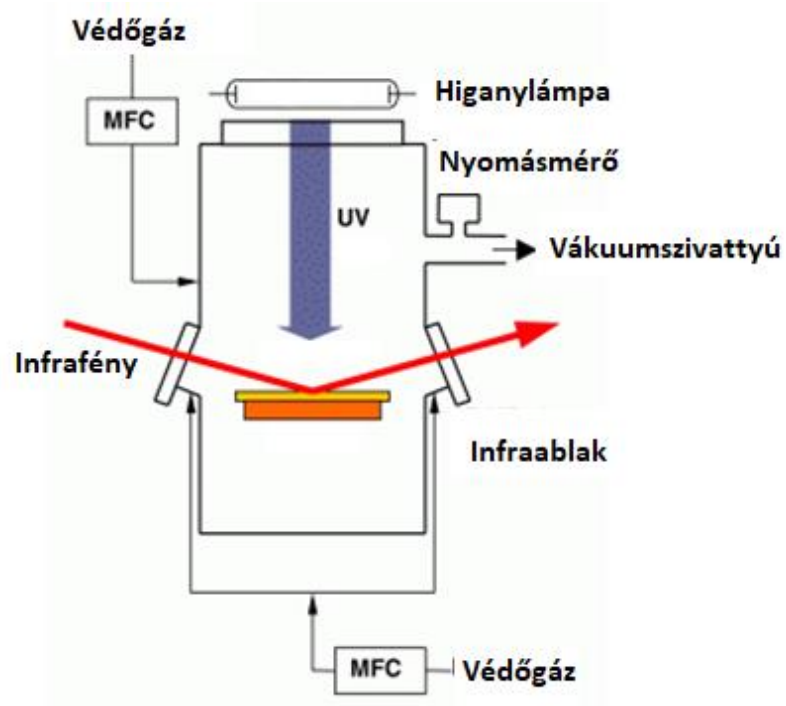
A rétegnövelő (réteggépző, rétegleválasztó) technológiákat két nagy csoportra lehet osztani: a fizikai és a kémiai eljárásokra. A fizikai eljárásoknál (PVD — Physical Vapour Deposition, azaz fizikai rétegnövesztés) a hordozó és a felvitt anyag között nincs kémiai reakció, csak fizikai kapcsolat van. A leválasztás során a réteggépző molekulák, ill. atomok lerakódnak a hordozó felületére. A kialakult réteget a kohéziós erők kötik a hordozóanyaghoz. A PVD eljárás (Physical Vapor Deposition) jellemzője, hogy 450°C alatti hőmérsékleten, 10-2 Pa nyomás alatt játszódik le. A technológia részeként porlasztással depozitot (TiN) juttatnak a védendő munkadarab felületére, amely lecsapódik és 20-50 um vastagságú bevonati réteget képez. Reaktív gázokat, nitrogént, acetilén, oxigént, stb. is juttatnak a vákuumkamrába, melyek a fémgőzzel, bevonó anyaggal együtt csapódnak le a bevonandó felületeken, amely felelős az atomok közötti igen erős kötődések létrejöttéhez, ennek eredményeképpen egy meglehetősen kopásálló réteg jön létre, hasonlóan a nitridáláshoz.



11.14. ábra: A PVD technológia elve [18]

11.18.2A CVD eljárás

A kémiai eljárásoknál (CVD — Chemical Vapour Deposition, azaz kémiai rétegnövesztés) a rétegnövesztés kémiai reakcióval jár, a réteg kémiai kötással kapcsolódik a hordozóhoz és a folyamat 500-1000°C között játszódik le kémiai reakcióval, amely felviszi az alkatrésze a felületi réteganyagot. A felhevített bevonandó alkatrészen játszódik le a lecsapódási folyamat, amely eredményeként egy ún. DLC réteget (Diamond Like Coating – gyémánthoz hasonló bevonat) hoznak létre kimagasló keménységgel és kopásállósággal.



11.15. ábra: A CVD technológia elve [19]

BEVEZETÉS A KÖNYV HARMADIK RÉSZÉHEZ

Az elmúlt években a karbantartás és üzemfenntartás gyökeres változásokon ment keresztül. Elég csak arra gondolni, hogy már az ókorban is készítettek egyszerűbb eszközöket, szerszámokat, amelyek az emberek segítségére voltak. Ezen eszközök segítségével az emberek élete, életminősége sokkal jobbá vált, mint korábban bármikor.

A történelem előrehaladtával egyre több gép jelent meg az emberiség életében. Érdemes megjegyezni az ipari forradalom idejét, amikor a gépek méretei és összetettsége radikálisan megváltozott. Komplexitásuk megnőtt és ez idő tájt már megjelent a biztonságtechnika fogalma, valamint a biztonságos munkavégzés megőrzését előíró szabályozások és eszközök.

Fontos kiemelni a XX. és XXI. század eseményeit, amikor már a hadiipar és a legtöbb iparág már rettentően komplex gépeket és berendezéseket használ, gondoljunk csak egy elektronikai iparban használt SMT¹ gépre. Ezen rendszerek kifejezetten igénylik a magasszintű karbantartást és a folyamatos fejlesztést, amely napjainkban rendkívül nagy szerephez jut egy modern ipari környezetben.

A könyv ezen fejezete igyekszik rövid áttekintést nyújtani a karbantartási irányzatok fejlődéséről és néhány fontosabb mutatószámáról, amelyeket termelőüzemekben használnak, mint Mean Time to Repair, Mean Time Between Failures vagy OEE². Az olvasó két számítási példán keresztül megismerheti az OEE számítás menetét és annak gyakorlati alkalmazását.

A fő célja a könyv karbantartáshoz kapcsolódó fejezetének, hogy minden olyan érdeklődő, hallgató vagy már kész mérnök, aki új tudást szeretne szerezni vagy frissíteni szeretné a tudását mindenképpen hasznos információkkal gazdagodjon a könyv olvasása során.

¹ SMT: Surface – Mount Technology (felületszerelési technológia)

² OEE: Overall Equipment Effectiveness

12 KARBANTARTÁS RÖVID TÖRTÉNETE

Ahogy a bevezetésben olvasható volt az eszközök folyamatosan fejlődtek az emberiséggel. Már az ókorban is érezhető volt, hogy szükséges valamilyen karbantartást elvégezni az adott eszközökön és kezdetleges gépeken. Az első karbantartási lépések kezdetlegesek voltak. Az emberek csak abban az esetben végeztek karbantartás a gépeken és eszközökön, amikor azok teljesmértékben működésképtelenné váltak. [1-9]

A karbantartás korai szakaszában a korabeli mérnökök már felismertek néhány fontos karbantartási tulajdonságot, ezek közül a legfontosabb a kenés művelete. A kenést már az ókorban megpróbálták fejleszteni, ez a fejlesztés és a kenés legfontosabb területe az Ókori Egyiptom volt. Gondoljunk csak a piramisok építésére. A görög és római kultúrák esetében a hadigépek fejlődése adott lökést a harci eszközök fejlesztésére. Ezek a civilizációk rengeteg technikai vagy más néven műszaki feljegyzést készítettek ezekről az eszközökről. [1-9]

Az első jelentős úttörő, akinek a munkája hatással volt a karbantartásra Leonardo da Vinci volt. Az olasz feltaláló folyamatosan átgondolta és újra tervezte a találmányait és eszközeit. Ennek köszönhetően a gépei nagyobb megbízhatósággal és biztonsággal működtek tovább. [1-9]

A következő jelentős mérföldkő az ipari forradalom volt, amely ontotta magából az újabb és az eddigieknél bonyolultabb gépeket. Ezek a gépek már bonyolult gépelemeket és különböző munkaközegeket és kenőanyagokat tartalmaztak, amelyek egymással kölcsönhatásban működtek. Ezek az új elemek teremtették meg az alapjait a mai modern karbantartásnak. A gőzgépek korában nagyon fontossá váltak a gépkezelők és azoknak a tapasztalatai, amelyeket felhasználtak a karbantartáshoz. Ezek a gépkezelők ebben az időben nem csak, mint operátorokként dolgoztak, hanem karbantartóként is. [1-9]

Az ipari forradalom után a szerkezeti anyagok adtak jelentős változást a karbantartás fejlődésének. Kutatók és mérnökök dolgoztak új anyagok létrehozásán és azok hasznosítását. Ezeknek a segítségével képesek voltak új könnyebb és jobb kopásállóságú elemeket használni és beépíteni a gépekbe. Ezeknek az anyagoknak nagy jelentősége volt a XIX. századi hadiiparban. A legjelentősebb változások mégis az utóbbi 60-70 évben ment végbe. [1-9]

A II. Világháború után a világ iparának és ipari létesítményeinek újra talpra kellett állni. Ebben az időben a Japán vállalatok jelentős fejlődésen mentek keresztül annak érdekében, hogy komoly vetélytársat jelentsenek más országok vállalatai számára. A Japán vállalatoknak rengeteg új folyamatfejlesztési és új karbantartási módszert köszönhet a világ. Ezeknek a módszereknek a célja, hogy megszüntessék vagy más szóval eliminálják a veszteségeket a folyamatokból, legyen szó termelő vagy szolgáltató területekről és hogy minimalizálják a veszteségek költségeit. [1-9]

Az egyik legfontosabb karbantartási rendszer, amely a szigetországból származik nem más, mint a TPM azaz a Total Productive Maintenance, amely magyar fordításban Teljeskörű Hatékony Karbantartásként található meg a szakirodalmakban. [1-9]

Ennek a módszernek a célja, hogy a karbantartás aktív résztvevőjévé tegye a sori operátorokat, felhasználják azoknak a tudását és tapasztalatát, valamint, hogy tehermentesítsék a karbantartó csoport munkáját. [1-9]

13 KARBANTARTÁSI STRATÉGIÁK

13.1 Üzemeltetés meghibásodásig (Run to Failure)

A meghibásodásig tartó üzemeltetés az egyik legegyszerűbb és legrégebbi karbantartási stratégia, amit ismerünk. Ennek a stratégiának a keretein belül addig használják a gépeket és a berendezéseket, amíg azok le nem állnak vagy használhatatlanok nem lesznek. A gépek megállása után kezdődik a karbantartás, amikor azokat elkezdik megjavítani és igyekeznek az eredeti állapotot visszaállítani, hogy a gép újra működőképes legyen. [5] [8]

Abban az esetben, ha ezt a karbantartási stratégiát használja a vállalat, akkor más stratégiát nem tudnak használni. Manapság a vállalatok kezdik ezt a fajta karbantartási megközelítést hanyagolni vagy teljesen eliminálni a vállalat életéből. Ennek oka, hogy a mai gyártórendszerek rendkívül érzékenyek a leállásokra, amik a vevői igények kielégítését nagymértékben veszélyeztetik. [5] [8]

A meghibásodásig való üzemeltetés során nagyon fontos úgynevezett biztonsági készleteket (safety stock) alkalmazni a kiszámíthatatlanság miatt. Ez a biztonsági tartalék vagy készlet általában a fontosabb gépalkatrészekből áll. Fontos megjegyezni, hogy ez a stratégia jól alkalmazható olyan esetekben, amikor a gépleállás nem veszélyezteti a gyártást, sem a dolgozók biztonságát. Az, hogy mely gépek ezek minden esetben a gyárvezetés, valamint a karbantartás vezetése dönti el. [5] [8]

Előnyök [5] [8]:

- minimális/semmilyen tervezést igényel, a gyártástervezők nem számolnak vele, mivel nincs pontos információ arról, hogy mikor fog bekövetkezni vagy, hogy mennyi időt vesz igénybe a karbantartási tevékenység, fontos kiemelni, hogy ez stresszel jár a karbantartó csoportnak
- könnyű a gyakorlatban használni, könnyen érthető a karbantartóknak és a sori operátoroknak egyaránt, nincs szükség különböző mérőberendezésekre vagy elvek, szabályok alkalmazására, egyszerűen addig használják a gépeket, amíg azok le nem állnak

Hátrányok [5] [8]:

- ahogy az előző pontban említésben került nem tervezhető, ugyanez hátrányként jelentkezik a karbantartó csoport munkájában, a karbantartó részleg nem tudja előre tervezni a munkát, az erőforrásigényeket (szerszám és ember oldalról egyaránt)
- nagy hatással lehet a gyártási folyamatokra és ezáltal a vevői igényekre
- inkonzisztens
- magas költségeket eredményez, egyaránt termelési oldalról, valamint költségeket eredményez raktározási oldalról, amikor a fontosabb alkatrészekből a vállalat tárol magának, hogy a hosszabb idejű leállásokat elkerüljék

13.2 Időszakos karbantartás (Periodic Maintenance)

Az időszakos vagy periodikus karbantartás egy hatalmas lépés a karbantartás fejlődésében. Ez a karbantartási stratégia már valamilyen tervezésen alapszik, amelyhez erőforrásokat rendelnek. Ez azt jelenti, hogy a karbantartók tisztában vannak a gépek elhasználódásával és bizonyos alkatrészek élettartamával is, tapasztalati adatokat halmoznak fel, dokumentumok állnak rendelkezésre és készítenek. A különböző standardok (ISO³, IATF⁴ stb.) útmutatásokat tartalmaznak periodikus karbantartással kapcsolatban és azok dokumentációs előírásukra egyaránt. Ezek a standardok és az általuk felállított dokumentációs követelmények nagyon fontosok. Bizonyos iparágak esetében akár több éves dokumentum archiválási követelmények vannak. [8] [10]

Az időszakos karbantartásnak a gyakorlatban van egy úgynevezett 6 lépésből álló ökölszabálya, amit érdemes követni [8] [10]:

- tisztítás
- mosás
- kenés
- alkatrészek beállítása
- hibás alkatrészek eltávolítása

Az időszakos karbantartásnak számos gyakorlati előnye van, segítségével lehetőség van az elhasználódó alkatrészek élettartamának elemzésére, az élettartam megóvására vagy annak növelésére. Abban az esetben, ha ez a karbantartási program megfelelően van tervezve, akkor a vállalat képes lehet pénzt, időt és energiát megtakarítani. [8] [10]

13.3 Tervszerű karbantartás (Preventive Maintenance)

A tervszerű karbantartás esetében a gépek tervezői adnak meg ajánlásokat karbantartási tevékenységekre és azok elvégzésére. Ezek a tevékenységek segítenek megőrizni a gépek eredeti állapotát és rendelkezésre állását, így megnövelve a gépek élettartamát. A vállalatok képesek így pénzt spórolni, ha a tervszerű karbantartást használják. Különböző kutatások és tanulmányok támasztják alá a stratégia gazdaságosságát. Bizonyos iparágakban akár 12-18%-os megtakarítást is említenek a szakirodalmak. [2] [8]

Előnyök [2] [8]:

- költséghatékony, nem csak a karbantartás számára, hanem a karbantartási logisztika esetében is kimutathatók a költségváltozások
- rugalmas, újra tervezhető

³ ISO: International Organization for Standardization

⁴ IATF: International Automotive Task Force

- növeli a gépek élettartamát
- energiát takaríthat meg
- csökkenti az eszközök meghibásodását és a folyamatok hibáit
- kevesebb stressz okoz az alkalmazottak számára

Hátrányok [2] [8]:

- váratlan rendkívüli meghibásodások bármikor bekövetkezhetnek
- erőforrás igényes
- bizonyos eseteken szükségtelen karbantartást is el kell végezni

Fontos megjegyezni, hogy ez a fajta karbantartási program nem egy ideális és hosszú távon követendő stratégia. A felsorolt előnyök mellett sajnos számos hátránnyal rendelkezik. Gyakorlati szempontból nem minden esetben költséghatékony. A karbantartási lépések egy része hatékony és növeli a gépek megbízhatóságát és ezáltal a termék minősége is jelentősen javul. Viszont ezen karbantartási stratégia során a karbantartó csoportnak nincs lehetősége az összes lehetséges hibát elhárítani, de a váratlan meghibásodások számát csökkenthetik. Annak érdekében, hogy más meghibásodásokat is kezelni tudjanak szükség van más karbantartási stratégiák használatára. is. [2] [8]

13.4 Megbízhatóság központú karbantartás (Reliability Centered Maintenance – RCM)

A megbízhatóság központú karbantartás egy újabb fontosabb mérföldkő a karbantartás fejlődésében. A megbízhatóság központú karbantartás egy teljesen új perspektívából közelíti meg a karbantartási feladatokat és problémákat. Ennek köszönhetően ez a stratégia kimondja azt, hogy nem szükséges minden egyes gépet a termelő területen egyformán kezelni, azaz karbantartás szempontjából minden gép más-más prioritást élvez. [3] [8] [9]

E kijelentés alapján fontos a termelésben az úgynevezett „üvegnyak” (bottle neck) gép megtalálása vagy meghatározása. Az üvegnyak a gyár vagy termelés leggyengébb pontja. Bármilyen hiba vagy zavar a rendszerben akár beláthatatlan következményeket eredményezhet a gyár számára, akár a gyár többi része teljesen leállhat vagy akár emberélet is veszélybe kerülhet. Az RCM megpróbál különbséget tenni gép és gép között. Ez a stratégia figyelembe veszi a humán erőforrás minőségét, valamint az üzemeltetési körülményeket. Ezek a tényezők gyáranként és földrajzi elhelyezkedés alapján mindig más lehet. Ezeknek a tényezőknek a figyelembevételével az RCM megpróbál felállítani egy új optimális karbantartási és üzemeltetési stratégiát ahhoz, hogy a vállalat a lehető legjobban tudja felhasználni a rendelkezésre álló eszközöket és humán erőforrást, párhuzamosan ezekkel költséget megtakarítva. [3] [8] [9]

Előnyök [3] [8] [9]:

- megfelelő tudással az RCM egy rendkívüli költséghatékony karbantartási rendszer
- alacsony költsége
- csökkenti a karbantartási ciklusok számát
- csökkenti a váratlan leállásokat
- a fókusz a kritikus berendezésekre és gépalkatrészekre helyezi
- növeli a gépelemek megbízhatóságát és hatékonyságát
- segíti a gyökérokelemzést

Hátrányok [3] [8] [9]:

- implementálás (bevezetés) során magas költségek lehetnek
- a költséghatékonyság nem minden esetben egyértelmű a vállalat vezetői számára

13.5 Állapotfüggő karbantartás (Condition Based Maintenance – CBM, Predictive Maintenance)

Az állapotfüggő karbantartás a karbantartások egy nagyon különleges változata. Ez a stratégia folyamatosan méri és felügyeli a gépek, berendezések és gépelemek állapotát. A méréseknek köszönhetően lehetőség van az adatokat tárolni, historikus adatokat elemezni és következtetések levonni belőlük. A következtetések eredményeképpen lehetőség van a karbantartási stratégiák optimalizálására. A CBM segít megmutatni azt az ideális időpontot vagy állapotot, amikor a karbantartási művelet elkezdése a legideálisabb. [1] [8]

Számos karbantartási indikátor segít abban, hogy a gépek állapotát vizsgáljuk. Ilyenek a nem invazív mérések, mint a szemrevételezés, teljesítménymérések stb.. Az adatokat lehet folyamatosan (continuous vagy real time) gyűjteni vagy pedig ciklikusan, meghatározott intervallumok alapján. A napjainkban (2018) használt gépek esetében fontos tudni, hogy rengeteg belső szenzorral rendelkeznek, amelyek a gépek állapotát folyamatosan figyelik. Ez nem azt jelenti, hogy a karbantartó mérnökök nem fejleszhetnek új érzékelőket vagy állapotfigyelő rendszert egy adott gépbe vagy gép köré. CBM rendszer egyaránt használható üvegnyak gépek esetében, valamint alacsonyabb prioritást élvező gépek esetében is. Fontos tisztázni, hogy kifizetődő e, ha minden gépen van ilyen rendszer. [1] [8]

Ahogy a korábbiakban olvasható volt az eddigi karbantartási stratégiák valamilyen rögzített időintervallumon alapultak vagy egyszerűen addig használják a berendezéseket, amíg azok tönkre nem mennek. Az állapotfüggő karbantartás ellenben nem így működik. A rendszer folyamatosan figyeli a meghatározott paramétereket a gépeken és jelzi azt a határt, amikor a karbantartás el kell végezni. Ennek köszönhetően a CBM stratégia segíti a javítások közötti eltelt idő maximalizálását, ha más karbantartási rendszerrel kombináljuk. [1] [8]

Előnyök [1] [8]:

- CBM rendszer folyamatosan működik, amikor a gép is
- csökkenti a költségeket
- növeli a hatékonyságot és a rendelkezésreállást
- csökkenti a váratlan meghibásodások számát és a vészleállásokat
- csökkenti a karbantartások idejét
- csökkenti a nem tervezett állások költségeit
- csökkenti a biztonsági készletek raktári szintjét és azok költségét
- optimalizálja/javítja a karbantartási intervallumok között eltelt időket, hogy még optimálisabb legyen a gyártás
- fejleszti a munkabiztonságot

Hátrányok [1] [8]:

Fontos megjegyezni, hogy az állapotfüggő karbantartásnak a bekerülési vagy bevezetési költsége rendkívül magas, ennek oka a különböző szoftverek és hardverek magas ára. A megfelelő adatfeldolgozáshoz külön számítógépes (szerver) terem vagy termék szükségesek, ahol gondoskodni kell a megfelelő biztonságról és a megfelelő hűtésről, amelynek szintén jelentős anyagi igénye van. [1] [8]

- magas oktatási költség az alkalmazottak számára
- néhány hibát neheze vagy egyáltalán nem képes kimutatni a rendszer
- a szenzorok pontosságát nagymértékben befolyásolják az üzemeltetési körülmények (pl.: zaj, hő, rezgések stb.)
- szükség lehet bizonyos esetekben régebbi érzékelők használata vagy átalakítása pl.: retrofit mérőórák
- kiszámíthatatlan karbantartási periódusok

Néhány gyakorlati példa, ahol állapotfüggő karbantartás a népszerű stratégiai forma [1] [8]:

- rezgéselemzés
- hőkamerás vizsgálat
- ultrahangos vizsgálat
- Akusztikus vizsgálat
- Olajvizsgálat
- Villamos berendezések állapotvizsgálata
- stb.

13.6 Kockázatalapú karbantartás (Risk-based Maintenance)

A kockázatalapú karbantartás kifejezetten a legnagyobb kockázatú gépekkel és gépelemekkel foglalkozik. Ez a stratégia igyekszik meghatározni a leggazdaságosabb módját a humán erőforrás és az egyéb eszközök használatára. A kockázatalapú karbantartás két nagy elemből áll [4] [8]:

- kockázat értékelés
- karbantartási terv készítésén, amely az előbbi kockázat értékelésen alapszik

Az egész karbantartási stratégia a meghibásodások kockázatán alapszik. Ez az egyszerű megközelítés segít meghatározni a karbantartás módját, idejét és akár a hosszát. [4] [8]

13.7 Lean karbantartás vagy Teljeskörű hatékony karbantartás (Total Productive Maintenance – TPM)

A teljeskörű hatékony karbantartás vagy másnéven a TPM napjaink egyik legnépszerűbb karbantartási stratégiája, amelynek gyökerei Japánból erednek és a Lean vállalatirányítási filozófia szerves részét képezi. Ez nem csak egy stratégia, hanem egy komplex filozófia, amely a szervezet összes dolgozóját használja a karbantartás során. Ezek lehetnek sori operátorok, technikusok, karbantartó mérnökök stb.. A TPM rendszerek igyekeznek a sori operátorok tapasztalatait és tudásukat felhasználni. Ennek a tapasztalatnak és tudásnak a segítségével pedig igyekszik rendszer a folyamatos fejlesztést állandósítani, javítani a termékek minőségét és a gépek megbízhatóságát. A teljeskörű hatékony karbantartás többnyire termelő területen népszerű, de megtalálható irodai területen is (National Instruments Hungary Kft., Debrecen, Magyarország, Green Tag TPM rendszer). [6] [8]

A TPM követi a termelési stratégiát, a karbantartási idő, javítások száma egy nagyon fontos mutatószáma a termelő területeknek. A vezetőség folyamatosan méri és elemzi ezeket a számokat, köztük a TPM mutatószámait is, ehhez a leghatékonyabb eszköz az OEE⁵ számítás, amelyről a későbbiekben lesz szó. [6] [8]

13.8 Számítógépes karbantartás menedzsment rendszer (Computerized Maintenance Management System – CMMS)

A számítógépes karbantartás menedzsment rendszerek különböző informatikai eszközökön alapulnak, számos hardvert és szoftvert használ. Ezek a szoftverek segítik a karbantartóknak, hogy a tevékenységüket rögzítsék és naplózhatóvá tegyék, a karbantartási lépéseket tervezhetővé tegyék és hogy a karbantartási tevékenységet naplózzák. Gyakorlati szempontból kétféle működést különböztetünk meg. Az első esetben a szoftverek a felhasználó saját számítógépén fut, a második esetben pedig weben vagy valamilyen felhő alapú szolgáltatásról beszélhetünk. [7] [8]

⁵ OEE: Overall Equipment Effectiveness – Teljes eszközhatékonyság

Az első esetnek számos előnye van. Az adatok saját környezetben futnak, az adatok titkosítása könnyen megoldható, de ebben az esetben célszerű a vállalatnak saját informatikai szakembereket alkalmazniuk. Fontos megjegyezni a magas költségeket, ezek a költségek nem csak szoftveres és hardveres oldalról jelentkeznek, hanem humán erőforrás oldalról, magasan kvalifikált szakemberek használata elkerülhetetlen. Bizonyos vállalatoknál ezeknek a szakembereknek ügyeletet is kell vállalniuk, a hét minden napján, napi 24 órában, tudásukat pedig folyamatosan fejleszteni kell. [7] [8]

Napjainkban (2018) egyre népszerűbben a webes vagy felhő alapú szolgáltatások. Ezek az eszközök mára már nem csak ipari környezetben található meg, hanem lakossági felhasználók számára is elérhető, gondoljunk csak a Microsoft One Drive szolgáltatására, a Google Cloud-ra vagy a Dropbox-ra. [7] [8]

A CMMS programok nagyrésze már képes arra, hogy on-line vagy felhő alapon működjön, ezeket „cloud-based” (felhő alapú) CMMS szoftvereknek hívják. Ennek az üzemeltetéséhez alvállalkozó bevonása szükséges, aki rendszergazdaként felügyeli a szoftvert, biztosítja az adatmentéseket és a folyamatos rendelkezésre állást. [7] [8]

Előnyök [7] [8]:

- kevesebb hiba, könnyen tervezhető karbantartás
- jobb nyomon követhetőség: technikusok, mérnökök tevékenységének egyszerűbb és gyorsabb ellenőrzése valós időben (Ipar 4.0)
- kevesebb mellékidő, a karbantartó csoport nem fog várakozni, hanem a munkáját szinte azonnal eltudja kezdeni, a felesleges tevékenységek és várakozások száma csökken
- az adatok megosztása könnyebbé válik más szervezetekkel vagy vállalatokkal, elősegítheti a benchmark tevékenységet
- költséghatékonyságot eredményezhet beszerzés oldalról
- az adatok elemzésével jobb energiagazdálkodás alakítható ki és jobb karbantartási folyamat állítható fel

A CMMS rendszerek és szoftverek nagyon fontosak más karbantartási stratégiák számára is. A CMMS rendszerek használhatók más karbantartási rendszerek kiegészítéseként is. Gyakorlatban 4 nagy területet ismerünk, ahol CMMS technológiát alkalmazunk [7] [8]:

- Termelő területek karbantartása
- Létesítmények karbantartása
- Flotta menedzsment/karbantartás
- „Linear asset” karbantartás: a CMMS technológia egy speciális eseten, utak, csővezetékek, kábelek karbantartására irányul

14 MUTATÓSZÁMOK – KEY PERFORMANCE INDICATOR, KPI SYSTEM

Mindennapi életünk során elengedhetetlen, hogy méréseket végezzünk. Ezem a mérések rendkívül változatosak lehetnek, elég csak arra gondolni, hogy mérjük a testsúlyinkat, vérnyomásunkat vagy az otthonainkban elfogyasztott energiamennyiséget. [3] [5] [6]

Ipari környezetben szintén szükséges a tevékenységek mérése. Erre a gyakorlatban úgynevezett mutatószámrendszert hozunk létre vagy idegen szakzsargonnal kifejezve Key Performance Indicator rendszert, amelyet röviden KPI rendszernek nevezünk. [3] [5] [6]

Ennek a rendszernek célja, hogy a termelés, karbantartást vagy bármilyen tevékenységet előre meghatározott adatok alapján mérjen, nyomon kövessen és tájékoztatást adjon a jelenlegi állapotról. Fontos, hogy pusztán mérőszámokat használni nem elég, elengedhetetlen az úgynevezett cél értékek meghatározása, amelyek megmutatják, hogy a jelenlegi állapot szerint az adott folyamat, termelési vagy karbantartási terület képes e a kitűzött célt teljesíteni. [3] [5] [6]

Abban az esetben, ha a mutatószámok nagyságrenddel elmaradnak a kitűzött céltől, akkor beavatkozás szükséges, amennyiben folyamatosan a célérték felett teljesít a vizsgált rendszer, akkor érdemes megvizsgálni a vevői igényeket, raktárkészleteket és amennyiben szükséges a célértéken módosítani. [3] [5] [6]

Minden vállalatnak megvan a saját mutatószáma, mutatószámrendszere. Fontos, hogy ne egy mutatószám alapján ítéljük meg egy terület eredményességét, hanem több számot vegyünk figyelembe. [3] [5] [6]

A legfontosabb karbantartási mutatószámok [3] [5] [6]:

- OEE - Overall Equipment Effectiveness
- Kijavításig eltelt átlag idő – Mean Time to Repair (MTTR)
- Meghibásodások közötti átlagidő – Mean Time Between Failures (MTBF)

14.1 Kijavításig eltelt átlag idő - Mean Time to Repair – MTTR

Az MTTR nem más, mint egy számolt átlag idő, ami ahhoz szükséges, hogy elkerüljük a problémákat és kicseréljük a meghibásodott alkatrészt vagy berendezést és visszaállítsuk a normál üzemi körülményeket. Ez az egyik alap mutatószám, amely elengedhetetlen egy karbantartási mutatószámrendszerhez. Fontos fogalom a karbantartási idő. Ez az idő meghatározza a javítás elkezdése és a gép újra indítása közötti időt. Vagy egyszerűbben fogalmazva: ez az az idő, amely megmutatja, hogy az adott gép milyen sokáig esett ki a termelésből. A karbantartási idő nagyon sok úgynevezett al vagy mellékidőket tartalmazhat, valamint egyéb lépéseket: diagnosztika, várakozás, kalibrálás stb.. Az MTTR egy jó tükröt képes adnia karbantartó csapat munkájáról és hatékonyságáról. [2] [5]

Az MTTR számításához egy rendkívül egyszerű matematikai összefüggés használható. Ezt a (1) képlet mutatja. [2] [5]

$$MTTR = \frac{\text{összes karbantartási idő}}{\text{javítások száma}} \quad (1)$$

A képlet alapján az összes karbantartási időt el kell osztani a javítások számával vagy karbantartási akciók számával. [2] [5]

Fontos megjegyezni, hogy a hibák folyamatosan változnak a gép öregedésével párhuzamosan. Néhány gépelem esetében nincs szükség bonyolult vizsgálatokra, elég csak az adott gépelemet kicserélni. A gépek előregedését nagyon fontos elemezni. A koruk előrehaladtával a karbantartási idők folyamatosan nőni fognak. Az első karbantartási idő és a későbbi karbantartások között jelentős különbség lesz, egy úgynevezett „gap” figyelhető meg. Ezt a tényt folyamatosan szem előtt kell tartani és a karbantartó csoportnak erre fel kell készülnie, a karbantartási stratégiát ennek megfelelően kell alakítani. [2] [5]

14.2 Meghibásodások közötti átlagidő - Mean Time Between Failures (MTBF)

A Mean Time to Repair mutatószám mellett a másik nagyon fontos mérőszám a Mean Time Between Fail or Failures vagy magyarrá fordítva a Meghibásodások közötti átlagidő, amely mozaikszóként is megtalálható a gyakorlatban: MTBF. Ahogy látható az angol szavak kezdőbetűiből tevődik össze. [1] [5]

Ez a mutatószám a gép, gépegységek vagy gépelemek meghibásodásai közötti eltelt átlagidőt mutatja. Ez a mutatószám gyakorlatban nagyon fontos szerepet kap, különösen olyan helyeken vagy iparágaknál, ahol a rendszerbiztonság kritikus. Ilyen eset lehet generátoroknál, lifteknél, emelőberendezéseknél és repülőgépeknél. Fontos megjegyezni, hogy az MTBF nem veszi figyelembe a tervezett karbantartásokat, logisztikai folyamatokat, kenési műveleteket stb. Az MTTR a rendelkezésre állásra van hatással, az MTB a rendelkezésre állásra és a megbízhatóságra. Gyakorlatban érdemes mind a két mutatószámot alkalmazni és elemezni. [1] [5]

Az MTBF mérése során a mértékegység rendszerint „óra”, csak a meghibásodások közötti időt mutatja, egyéb szerelési és javítási időket nem vesz figyelembe és ezáltal nem jelennek meg a mért eredmény során. [1] [5]

Gyakorlatban vagy ipari környezetben számos olyan tényezőt találunk, amelyek módosíthatják az MTBF értékeket, ebben az egyik legfontosabb vagy legkritikusabb az emberi tényező. Fontos megjegyezni, hogy a mérnökök, technikusok vagy sori dolgozók nem egyforma tapasztalattal és képességgel rendelkeznek. Itt gondolhatunk arra, hogy van, aki 10 éve dolgozik ugyanazon a gépen vagy gyártósoron és van olyan munkatárs, aki csak pár hónapja dolgozik az adott vállalatnál. Nagyon fontos hangsúlyozni, hogy ezeket a tapasztalatokat a vállalatnak ki kell használnia. Ide tartozik a lean szakirodalomban gyakran emlegetett 7+1 fő veszteség, amely a kihasználatlan emberi tudást jelenti. Ennek a kihasználatlan emberi tudásnak a felhasználása és elemzése

elengedhetetlenül fontos egy vállalat életében, nem csak karbantartás oldaláról, hanem a vállalat egyéb más területein egyaránt. [1] [5]

A meghibásodások közötti eltelt átlagidő számításához a következő képletet alkalmazzuk a gyakorlatban [1] [5]:

$$MTBF = \frac{\Sigma(\text{Állásidő} - \text{Üzemidő})}{\text{Meghibásodások száma}} \quad (2)$$

Bizonyos esetekben a gyártól előre meghatározzák az MTBF értékeket egyes gépekhez vagy gépsorokhoz. Ezek az eredmények vagy megadott MTBF értékek korábbi gépek tapasztalatain alapulnak vagy prototípusokból származtatott értékekből. Ezek az értékek nem feltétlenül érvényesülnek a gyakorlatban, így általában fenntartással kell kezelni őket. Amennyiben lehetséges érdemes számítógépes rendszeren alapuló mérőrendszert kiépíteni és hozzá kapcsolódó mutatószámrendszert. Az így kapott eredmények pontosak lesznek és könnyen kezelhetővé válnak. Amennyiben ez nem lehetséges, akkor úgynevezett „offline” megoldást kell alkalmazni, amely papír alapú dokumentálást jelent. A későbbiekben ezeket az adatokat is lehetséges számítógépes adatbázisban rögzíteni. [1] [5]

Az MTBF az egyik legfontosabb mutatószám, amely a karbantartást és a gépek állapotát jellemzi. Ez a mutatószám segít a karbantartási és a termelési folyamatok fejlesztésében, a termékek minőségének javításában és hosszabb távon egy jobb munkahelyi légkör kialakítására. Az MTBF alkalmazása egy fontos sikerfaktor lehet egy mai modern gyár stratégiájának kialakítása közben. [1] [5]

14.3 Overall Equipment Effectiveness (OEE)

A mai termelőüzemekben az egyik legfontosabb mutatószám az Overall Equipment Effectiveness (OEE), amely a gépek és berendezések rendelkezésre állását mutatja meg százalékos formában. Három fontos összetevőből épül fel, ezek a minőség faktor, rendelkezésre állási faktor és végezetül a teljesítményfaktor. Az OEE segítségével lehetőség van meghatározni, hogy a vizsgált terület mely részeinek van szüksége fejlesztésre. A számításhoz használt képlet a következő [4] [5]:

$$\text{Overall Equipment Effectiveness} = \text{minőség} \times \text{rendelkezésre állás} \times \text{teljesítmény} \quad (3)$$

Magyarázat az egyes faktorokhoz [4] [5]:

- Minőség: a jó termékek darabszáma és az összes legyártott darabszám aránya
- Rendelkezésre állás: az elméleti teljesmunkaidő és a valós munkaidejének az aránya, fontos megjegyezni, hogy az elméleti teljesmunkaidőre több tényező is hatással van, ilyen a karbantartás vagy a nem tervezett gépleállások
- Teljesítménymutató: az előírt teljesítendő darabszám és a legyártott darabszám aránya

Az OEE egyik nagy előnye, hogy figyelembe veszi a tervezett leállásokat, mint a szabadságot, ünnepeket, hétvégeket vagy éppen a tervezett karbantartási munkákat. Amint látható az OEE-ből rengeteg hasznos és jól használható információt tudunk kiolvasni, az „álmom gyár” a következőképpen néz ki a gyakorlatban: a gyár a legjobbműködő termékeket gyártaná a lehetőlegrövidebb idő alatt, nem tervezett leállások nélkül. Ez az eset jelentené a 100%-os OEE értéket. A gyakorlatban azonban ez nem kivitelezhető! [4] [5]

Gyakorlati szempontból világklasszisnak nevezhetők a 85%-nál nagyobb OEE értékkel rendelkező üzemek, míg a világ átlag ~60% körül mozog. Fontos megjegyezni, hogy iparáganként eltérő eredményeket tapasztalhatunk. Nem mindegy, hogy pusztán összeszerelő üzemről van szó vagy fémmegmunkáló üzemről, az sem mindegy, hogy az adott vállalat vadonatúj gépeket használ vagy pedig már több 10 éves már nagyfelújításra szoruló gépeket. [4] [5]

Az OEE egy mindennapos mutatószáma termelő területeken, viszont látható, hogy képes más tevékenységet is jellemezni, nem csak a termelést, ilyen a minőségbiztosítás vagy a karbantartás, különösen a TPM⁶ esetén kap nagy szerepet ez a mutatószám. Az előbbieken bemutatott képlet az OEE számításához csak egy példa. A számítás minden esetben három tényezőtől tevődik össze, de cégcsoportonként vagy vállalatonként eltérő képleteket alkalmazhatnak. Ebből kifolyólag az OEE értéke is változik. Minden esetben fontos a képlet és a benne lévő tényezők vagy faktorok tisztázása, hogy a gyárvezetés és az alkalmazottak minden esetben ugyanazt értse alatta és egyértelmű legyen mindenki számára. [4] [5]

A ezeknek a faktoroknak a mérése vagy begyűjtése kétféleképpen történhet, „offline” és „online”. Offline mód esetén az előző fejezetben hasonlóan papíralapú adatgyűjtést és rögzítést értünk, míg online mód esetében számítógépes rendszeren alapuló mérés és adatgyűjtést. Az utóbbi esetben célszerű valamilyen vállalatirányítási rendszert használni, mint SAP vagy Oracle, de vállalat méretétől függően egyszerű Microsoft Excelben is lehet adatokat rögzíteni. [4] [5]

Az 1. táblázat a faktorokhoz rendelt lehetséges fejlesztési területeket mutatja be.

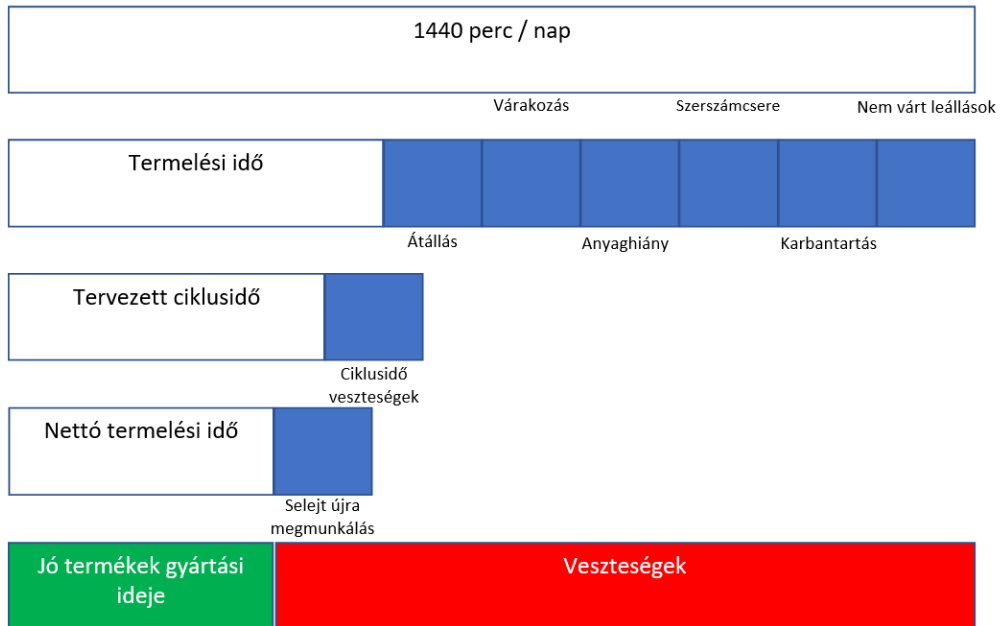
⁶ TPM: Total Productive Maintenance

14.1. táblázat: Fejlesztési területek [4] [5]

Tényező/faktor	Probléma	Fejlesztési lehetőség
Rendelkezésre állás	Váratlan leállások Mikroleállások Üzemszünetek Beállítási/kalibrálási idők	Megelőző karbantartás fejlesztése Reaktív karbantartási idők csökkentése Humán erőforrás képzése, fejlesztése Tudásbázis fejlesztése Hatékony eszközhasználati stratégia kialakítása
Teljesítmény	Rosszul működő berendezések Nem hatékony munkafolyamatok Nem megfelelő kenés Nem megfelelő anyagok Elavult rendszerek használata	Gépek, berendezések felújítása Alkatrészek, gépek cseréje
Minőség	Gépek, berendezések nem megfelelő karbantartása Rendszereltérések és hibák Fluktuáció	Alapanyagok fejlesztése

Az OEE értékét érdemes szoftveresen számolni, a vállalatirányítási rendszerek/szoftverek nagymértékben megkönnyítik a cég mindennapjait. [4] [5]

A következőkben két példa olvasható OEE számításra.



14.1. ábra: Időeloszlás a termelésben [4] [5]

A gépek és berendezések teljes rendelkezésre állását számos tényező befolyásolja. A három tényezőt/faktort, a rendelkezésre állást, a teljesítményt és a minőséget a következő képletekkel számolhatjuk [4] [5] [6]:

$$\text{Rendelkezésre állás} = \frac{\text{teljes rendelkezésre állás} - \text{nem tervezett állásidő}}{\text{teljes rendelkezésre állás}} \quad (5)$$

$$\text{Teljesítmény} = \frac{\text{termelési idő} - \text{ciklusidő}}{\text{termelési idő}} \quad (6)$$

$$\text{Minőség} = \frac{\text{tervezett ciklusidő} - \text{újramegmunkálási idő}}{\text{tervezett ciklusidő}} \quad (7)$$

A következőkben két gyakorlati példa látható OEE számításra más megközelítésből [4] [5] [6]:

1. példa:

$$\text{Rendelkezésre állás} = \frac{\text{teljes rendelkezésre állás} \times 100}{\text{teljes rendelkezésre állás}} = \frac{510 \times 100\%}{1440} = 35,4\% \quad (7)$$

$$Teljesítmény = \frac{\text{tervezett percenkénti db szám} \times 100}{\text{termelési idő}} = \frac{435 \times 100\%}{510} = 85,3\% \quad (8)$$

$$Minőség = \frac{\text{nettó termelési idő} \times 100}{\text{tervezett ciklusidő}} = \frac{426 \times 100\%}{435} = 97.9\% \quad (9)$$

$$OEE = \text{Rendelkezésre állás} \times \text{Teljesítmény} \times \text{Minőség} \quad (10)$$

$$OEE = 0.354 \times 0.853 \times 0.979 \times 100\% = 29.6\% \quad (11)$$

2. Példa:

Kiinduló adatok:

Műszak hossza: 8 óra = 480 perc

Rövid szünetek: $2 \times 15\text{perc} = 30$ perc

Ebédszünet: 30 perc

Állásidők: 47 perc

Ideális „Run Rate”: 60 darab / perc

Teljes darabszám: 18371 darabszám

Selejt darabszám: 523 darabok

$$\text{Tervezett termelési idő} = \text{Műszakok hossza} - \text{Szünetek} \quad (12)$$

$$\text{Tervezett termelési idő} = 480 - 60 = 420 \text{ perc} \quad (13)$$

$$\text{Működési idő} = \text{Tervezett termelési idő} - \text{Állásidők} \quad (14)$$

$$\text{Működési idő} = 420 - 47 = 373 \text{ perc} \quad (15)$$

$$\text{Jó darabok} = \text{Teljes legyártott darabszám} - \text{Selejt darabszám} \quad (16)$$

$$Jó arabok = 18371 - 223 = 17848 \text{ darab} \quad (17)$$

$$Rendelkezésre állás = \frac{\text{Működési idő}}{\text{Tervezett termelési idő}} \quad (18)$$

$$Rendelkezésre állás = \frac{373}{420} = 0,8881 = 88,81\% \quad (19)$$

$$Teljesítmény = \left(\frac{\text{Jó darabok}}{\text{Legyártott darabszám}} \right) \div \text{Ideális "Runrate"} \quad (20)$$

$$Teljesítmény = \left(\frac{17848 \text{ darab}}{373 \text{ perc}} \right) \div 60 \frac{\text{darab}}{\text{perc}} = 0,7974 = 79,74\% \quad (21)$$

$$\text{Minőség} = \frac{\text{Jó darabok}}{\text{Legyártott darabszám}} \quad (22)$$

$$\text{Minőség} = \frac{17848}{18371} = 0,9715 = 97,15\% \quad (23)$$

$$OEE = \text{Rendelkezésre állás} \times \text{Teljesítmény} \times \text{Minőség} \quad (24)$$

$$OEE = 0,8881 \times 0,7974 \times 0,9715 = 0,6879 = 68.79\% \quad (25)$$

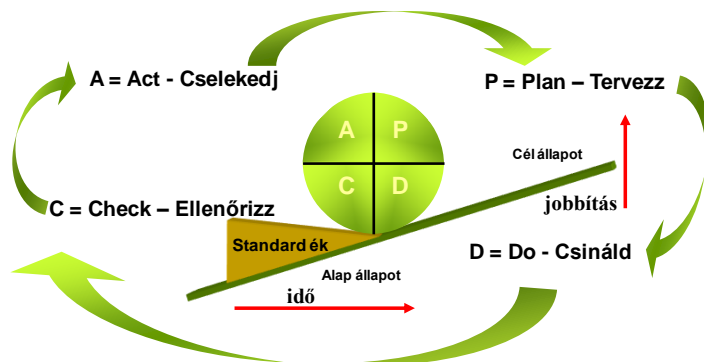
15 KOCKÁZATELEMZÉS ÉS PROBLÉMAMEGOLDÓ TECHNIKÁK

15.1 PDCA

Egy termelőüzemben a kialakított folyamatokat folyamatosan tökéletesíteni és javítani kell annak érdekében, hogy a vállalat és a benne lévő folyamatok fejlődjenek. Ennek célja a különböző veszteségforrások eliminálása vagy minimalizálása a folyamatokban. Nagyon fontos, hogy ezeket a fejlesztéseket a vállalat munkatársainak az ötleteire alapozva hajtsuk végre, ne hagyjuk a tudásukat kihasználatlanul. A jó működés alapja egy vállalatnál a stabil és szabványosított munkafolyamatok, a kaizen tevékenységek és a jól működő 5S. [1-4]

A szabványosított munkafolyamatok nem csak minőségbiztosítás területén fontosok, hanem a napjainkban népszerű lean vállalatirányítási filozófia esetén is megjelennek. A standard egy olyan szabvány, amely mindig a jelenleg „legjobb” módszert tartalmazza, jól dokumentált, betanítható és ciklikusan ismételtető formában, így egy standard bárhol képezheti a folyamatos fejlesztés alapját. [1-4]

Egy standard kialakítása során a munkát és fejlesztést nem szabad abbahagyni. Törekedni kell arra, hogy az adott standardot tovább fejlesszük és tökélesítsük, Ennek oka, hogy a vevői igények folyamatosan változnak, a gyár nem egy állandó állapotban van, hanem folyamatosan változik, cserélődnek a termékek, gépek és fluktuáció is van a szervezetben. Ebből kifolyólag a standardok és munkafolyamatok is változnak. A folyamatos fejlesztés egyik legjobb eszköze a W. Edwards Deming által megfogalmazott PDCA ciklus vagy módszer. [1-4]



15.1. ábra: PDCA ciklus [3]

„A lényege, hogy a kitűzött célok elérése érdekében a betervezett munkafolyamatokat végrehajtsuk (DO), majd az eredményeket ellenőrizve (Check), kiértékelve (Act) új intézkedéseket vezetünk be a cél elérése érdekében (Plan), így jobbitva, javítva a folyamatot. Természetesen ezt a folyamatok javítását már meglévő standardok segítségével kell elvégezni. A PDCA egy olyan ciklus, amely egy önmagában záródó hurokhoz hasonlítható, a folyamatos fejlesztés alapmodellje. A lényege, hogy a tevékenységeket újra és újra meg kell ismétetni a fejlődés érdekében. Ezt jól reprezentálja a 24. ábrán látható PDCA kór, amely egy lejtőn található.” [1-4]

A Toyota vállalatnál 3 szabványosított elemet használnak a gyakorlatban, ezek a következők [1-4]:

- ütemidő
- műveleti sorrend
- szabványosított (WIP) gyártásközi készlet

Ezek a szabványosított elemek egy úgynevezett munkadiagramon találhatóak. Ezek a munkadiagramok vagy standard munkalapok a munkafolyamatok vezérlőprogramjai. A dokumentumok arra szolgálnak, hogy ismertessék az optimális munkafolyamatot, a minőség, a termelékenység, a terhelés és egyéb más összetevők függvényében. A rögzített vagy előírt szabványok stabil működést biztosítanak, segítik a dolgozókat, hogy a termékeket a megfelelő minőségben gyártsák le. A cég munkavállalóit megtanítják, hogyan kell elvégezni a szabványosított munkát, milyen eszközökkel és mennyi idő alatt. Ezeknek a szempontoknak a figyelembevételével biztosítható, hogy a termékek minden esetben ugyanabban a minőségben kerüljenek legyártásra. [1-4]

A mai termelőüzemekben kiemelkedő jelentőséget kapnak az úgynevezett Kaizen tevékenységek, amelyek apróbb, jobbító fejlesztéseket jelentenek. A Kaizen szó japánból ered. Ezeket az apró fejlesztéseket szinte minden esetben a sori operátorok generálják és az ötlet vagy jobbító intézkedést teljes egészében ők viszik végig a megvalósítási folyamaton. A kaizen tevékenységnek három változatát ismerjük: [1-4]

Kaizen: „Apróbb fejlesztéseket és változtatásokat jelent, amelyeknek anyagi vonzata nincs vagy elhanyagolhatóan kicsi. Ezeknek az ötleteknek a forrása személyes tapasztalat és az évek alatt felhalmozott rutin. Ezek a fejlesztések többnyire rövid idő alatt kivitelezhetők.” [1-4]

Kairyo: „Ezeknek a fejlesztéseknek az anyagi vonzata jelentősebb, mint az előző esetben, az ötletek komplexebbek és komolyabb tervezést igényelnek. Egy adott részterületre helyezik a hangsúlyt.” [1-4]

Kaikaku: „Egy átfogó, soktényezős mély reformfejlesztést jelent. Ennek a fejlesztésnek vagy fejlesztéseknek az anyagi vonzata jelentős. Komoly beruházási előkészítéssel és szervezéssel jár a gyakorlatban, így megvalósítási időtartama hosszú. Gyakorlatban előfordul, hogy sok kis kaizen generálja a kaikakut.” [1-4]

„A kaizen tevékenységeket további szempontok alapján is lehetőségek van csoportosítani: [1-4]”

- *„felülről jövő: amikor a felső generálja a fejlesztést és annak végrehajtásának módját”*
- *„alulról jövő: amikor a dolgozói szinten történik fejlesztési javaslat
Ennek két formája van: egyéni és csoportos”*

A dolgozók által beküldött ötleteket a vállalat különböző vezetői szintjei minden esetben megvizsgálják. A vezetőségnek fontos látni az ötletek novumát és meg kell vizsgálni azok hosszú és rövidtávú hatásai egyaránt. Amennyiben az ötleteket a vezetőség megfelelőnek ítéli, akkor különböző termeléstámogató társterületek segítségével (pl.:

karbantartás, minőségbiztosítás stb.) meg kell valósítani. Az ötlet gazdáját vagy gazdáit pedig valamilyen jutalomban vagy díjazásban részesítik, ez lehet tárgyjutalom vagy pénzjutalom. A jutalom mértékét és fajtáját szinte minden esetben vállalati kultúra és a vállalati politika határozza meg. [1-4]

15.2 5 Miért módszer

Ipari környezetben számos gyökérokelemző módszert ismerünk, amelyek közül a legnépszerűbbek az 5 Miért módszer és a Halszálka Diagram (Ishikawa Diagram). Mind két módszer a probléma gyökérokát igyekszik meghatározni és azt kifejtetni, valamint, a módszerek segítségével olyan intézkedések is meghatározhatók, hogy a probléma ne forduljon elő többet. [1-4]

Fontos megjegyezni, hogy gyökérok elemző módszereket nem csak minőségbiztosítás területén alkalmaznak. Ezek a módszerek napjainkban már egyéb területeken is megtalálhatók és nagy népszerűségnek örvendenek, ilyen a karbantartás (TPM – Total Productive Maintenance) és folyamatfejlesztés területén is. A leggyakrabban használt problémamegoldó módszereket a fejezet címében is megtalálható, ez az 5 Miért módszer. [1-4]

Az 5 Miért módszer minőségbiztosítás területén egy igen fontos eszköz, egyik nagyon fontos területe a reklamációkezelés, ahol a felmerülő minőségügyi probléma gyökérokát igyekszünk vele meghatározni. A módszer segítségével alavető ok-okozati kapcsolatok határozhatók meg. Az eszköz használata során ökölszabályként 5 miért kezdetű kérdést kell feltenni. Fontos megjegyezni, hogy egy miéltre nem csak egy válasz létezhet, hanem több is. A kérdések feltevése során az eszköz használója eljuthat a probléma valódi okát okozó, úgynevezett gyökérokhoz vagy a probléma gyökeréhez, ezt angolul root cause-nak neveznek. Az 5 miért módszer gyökerei a Toyota vállalatnál keresendők. [1-4]

Az 5 miéltre egy példát láthatunk a következő táblázatban.

15.1. táblázat: 5 Miért alkalmazása [1-4]

Kérdés	Válasz	Megoldás
Miért késtél el?	Mert leállt az autóm.	Holnap behozlak én.
Miért állt le az autó?	Mert elfogyott a benzin.	Veszek neked üzemanyagot.
Miért fogyott el a benzin?	Mert nincs pénzem üzemanyagra.	Adok pénzt.
Miért fogyott el a pénzed?	Mert elhagytam.	Veszek neked egy pénztárcát
Miért játszottad el?	Mert felelőtlen vagyok.	Kezeljük a felelőtlenséget.

Az 5 miért módszer alkalmazásának esetében meg kell említeni, hogy a módszer potenciális veszélyeket is hordoz magában. Előfordulhat, hogy a kérdező már elért a probléma valódi gyökeréhez, de előfordulhat, hogy az elemzés téves úton halad és nem kerül meghatározásra a probléma valódi oka. [1-4]

16 5S

Az 5S módszer egy a II. világháború után kialakult Japán módszer. Ennek a módszernek az elemeit használja fel több más lean módszer mellett a TPM is. Az 5S elnevezés onnan ered, hogy öt darab 'S' betűvel kezdődő szóból áll össze, ezek a következők [1-3]:

- Seiri (Sort): szükségtelen dolgok eltávolítása
- Seiton (Stabilize): tartsunk mindent a megfelelő helyen
- Seito (Shine): tartsunk tisztaságot, rendet
- Seiketsu (Standardize): standardizálás
- Shitsuke (Sustain): fegyelem

Manapság egyre népszerűbb az úgynevezett 6S módszer, amely esetében a Safety vagy magyarul a biztonságtechnika területével egészül ki a módszer. [1-3]

17 A VESZTESÉGEKRŐL RÖVIDEN

A termelőüzemben vagy irodában történő fejlesztő munka megkezdése előtt tisztában kell lenni azzal, hogy mit és esetleg kit kell figyelni. Nem csak az értékteremtésre kell koncentrálni, hanem a felmerülő veszteségforrásokra is. Lean szempontból a következő veszteségeket különböztetjük meg: muda, muri és mura. [1-3]

Muda: „nem értékteremtő tevékenységek, melyek meghosszabbítják az átfutási időket, az alkatrészek vagy eszközök mozgásából adódóan plusz mozdulatokhoz, többletkészlethez vagy bármilyen típusú várakozáshoz, hibás termékek előállításához vezethet. Magába foglalja a 7+1 alap veszteséget.” [1-3]

Muri: „munkatársak vagy berendezések túlterhelését jelenti. A túlterhelt gépek meghibásodáshoz, a túlterhelt dolgozó pedig balesetet szenvedhet, vagy minőségi probléma léphet fel a túlterheltségéből adódóan.” [1-3]

Mura: „egyenetlenség. Az előző két M összjátékának tekinthető. Az egyenetlenség miatt néha több munka adódik, mint amit az emberek és a gépek kapacitása megenged. Ez az egyenetlenség a rendszertelen termelési ütemből vagy a belső problémák miatti ingadozó termelésből adódik.” [1-3]

A három „M” együttesen alkot egy nagy rendszert. A Toyota Termelési rendszer esetében 8 alapvető veszteség kerül azonosításra a gyakorlatban. [1-3]

FELHASZNÁLT SZAKIRODALOM

2.FEJEZET

- [1] SZABÓ József Zoltán - A károsodások, a tönkremenetel okai, jellegzetes rongálódási, kopási folyamatok
<http://www.doksi.hu/get.php?order=DisplayPreview&lid=10728&p=4> 2018.02.15
- [2] SZÁNTÓ J: Javítástechnológia (Károsodás-elmélet), (2013) www.tankönyvtar.hu
- [3] JENEI I.-LADÁNYI G.: Kenésgazdálkodás, (2013) www.tankönyvtar.hu
- [4] DREYER-GERGYE.: Kopási folyamatok online mérése radionukleációs technika (RNT) segítségével *epa. Magyar Tudomány* • 2012 07 • Mobilitás és környezet oszk.hu/00600/.../EPA00691_mtud_2012_12_MOBI_071-080.pdf
- [5] gt3.bme.hu/oktatas/letoltes/.../GEAGG2/.../AGG2_tribologia_12t.pdf 2017.11.20
- [6] <https://moly.hu/konyvek/dr-janik-jozsef-gepuzemfenntartas-I-II> 2017.11.20
- [7] SÓLYOMVÁRI Károly: *Járműfenntartás II, Károsodás (1997) BME*, <http://doksi.hu; Károsodás kt72.doc> 2017. 12.18.
- [8] JANIK J. szerk. (2001): Gépjárműfenntartás I. Főiskolai Kiadó, Dunaújváros. ISBN: 963 00 6776 5 ö, ISBN 963 00 6777 3
- [9] JANIK J. szerk. (2001): Gépjárműfenntartás II. Főiskolai Kiadó, Dunaújváros. ISBN 963 00 6776 5 ö, ISBN 963 00 6778 1
- [10] RÁTHY Istvánné - FAZEKAS Lajos – GAVALLÉR József – KUGYELA Péter: *Karbantartás és gépjárműjavítás (2015) Debreceni Egyetem Műszaki Kar* ISBN: 978-963-473-905-0

3.FEJEZET

- [1] FAZEKAS L.: Gépjárműjavítás I. (2017) Oktatási segédlet Debreceni Egyetem Műszaki Kar
- [2]] JANIK J. szerk. (2001): Gépjárműfenntartás II. Főiskolai Kiadó, Dunaújváros ISBN 963 00 6776 5 ö, ISBN 963 00 6778 1
- [3] www.szarazjegkft.hu/tisztitasi-technologiak 2017.12.10
- [4] VADÁSZ Emil. et. al: *TMK Zsebkönyv Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1985, ISBN 963-10-5889-1*

4. FEJEZET

- [1] FAZEKAS L.: Gépjárműjavítás II. (2001) Oktatási segédlet, Debreceni Egyetem Műszaki Kar
- [2] SZÁNTÓ J: Javítástechnológia (Károsodás-elmélet), (2013) www.tankönyvtar.hu

5. FEJEZET

- [1] FAZEKAS L.: Gépjavítás II. (2001) Oktatási segédlet, Debreceni Egyetem Műszaki Kar
- [2] CZINEGE Imre: Gyártási folyamatok-hegesztés, SZE, Győr, oktatási segédlet (Power Point bemutatók),2006
- [3] BUDAI I.-FAZEKAS L.: Gépészeti anyagtan, Terc Kft. Budapest, 2013, ISBN 978-963-9968-78-3 pp. 1-133
- [4] RÉVÉSZ J.: Volframelektrodás ívhegesztő ppt. 1-420 <http://www.blathy-tata.sulinet.hu/tighszi.pdf> 2012.02.25
- [5] www.tankonyvtar.hu/en/...gepeszeti_anyagtan/gepeszeti_anyagtan.pdf 2015.03.30

6. FEJEZET

- [1] FAZEKAS L.: Gépjavítás III. (2001) Oktatási segédlet, Debreceni Egyetem Műszaki Kar
- [2] JANIK J. szerk. (2001): Gépüzemfenntartás I. Főiskolai Kiadó, Dunaújváros. ISBN 963 00 6776 5 ö, ISBN 963 00 6777 3
- [3] JANIK J. szerk. (2001): Gépüzemfenntartás II. Főiskolai Kiadó, Dunaújváros ISBN 963 00 6776 5 ö, ISBN 963 00 6778 1
- [4] FAZEKAS L.: Hideg fémporszórással létrehozott felületi réteg tulajdonságai és technológiájuk kapcsolata, Doktori (Ph.D) értekezés, 2011 Gödöllő Szent István Egyetem
- [5] MOLNÁR A. (2002): Termikus szórás. Miskolci Egyetem. Oktatási segédlet.
- [6] TAKÁCS J. (2004): Korszerű technológiák a felületi tulajdonságok alakításában Műegyetem Kiadó.
- [7] SZÁNTÓ J: Javítástechnológia (Károsodás-elmélet) (2013) www.tankonyvtar.hu
- [8] HARTMANN Vilmos - FELKER József – KALMÁR Vilmos – HORVÁTH Gábor: Mezőgazdasági gépalkatrészek felújítása, Mezőgazdasági Kiadó, Budapest 1986, ISBN 963 232 2584

7. FEJEZET

- [1] <file:///C:/Users/USER/Desktop/Jegyzet/Default.aspx.htm> 2017.10.25
- [2] gt3.bme.hu/oktatas/segedletek/Anyaggal/anykot3.pdf 2012.04.29
- [3] SZENDRŐ Péter et. al: Gépelemek Gödöllő: Mezőgazdasági Kiadó, 2007.-ISBN 978-963-286-645-1-pp.127-136, 207-261
- [4] <http://ebookbrowse.com/91980-teroston-industrial-pdf-d72554369> 2017.11.28

- [5] KALÁCSKA Gábor et. al: Műszaki polimerek és kompozitok a gépészeti gyakorlatban Gödöllő 3C-Grafika Kft, 2007, ISBN-10: 963-06-1566-5, ISBN-13: 978-963-06-1566-2.

Szakkönyvek:

- [1] Dr. HORVÁTH Mátyás, Dr. MARKOS Sándor: *Gépgyártástechnológia*. Budapest: Műegyetemi Kiadó, 2002.
- [2] Dr. NAGY István: *Állapotfüggő Karbantartás Műszaki Diagnosztika I.* Paks: Delta-3N Kft., 2005.
- [3] Dr. KOMÁROMI László: *Minőségmenedzsment*. Budapest: SZÁMALK Kiadó, 2000.
- [4] Dr. RÁRTHY Istvánné, Dr. FAZEKAS Lajos, GAVALLÉR József, KUGYELA Péter: *Karbantartás és gépjavítás*. Debrecen: Debreceni Egyetem Műszaki Kar, 2015.
- [5] Dr. KOCSIS Imre, DEÁK Krisztián, SZABÓ Tamás, KVASZ Richárd: *Diagnosztika és állapotfelügyelet*. Debrecen: Debreceni Egyetem Műszaki Kar, 2015.

Internetes források:

- [6] http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0005_42_minosegmenedzsment_scorm_06/6311_fmea.html, Letöltés dátuma: 2017.12.18.
- [7] <http://docplayer.hu/23346485-Minosegmenedzsment-modszerek-bedzsulabalint.html>, Letöltés dátuma: 2017.12.18.
- [8] <https://pmstudycircle.com/2014/07/fishbone-cause-and-effect-or-ishikawa-diagram/>, Letöltés dátuma: 2017.12.25.
- [9] <https://www.qualitymag.com/articles/93578-measurement-with-micrometers>, Letöltés dátuma: 2017.12.19.
- [10] <http://wellden.mx/pasos-basicos-la-inspeccion-liquidis-penetrantes/>, Letöltés dátuma: 2018.01.02.

[11] http://www.hajduautort.hu/data/thumb_1424778146.jpg, Letöltés dátuma: 2018.01.03.

[12] <https://hu.wikipedia.org/wiki/Szikraforg%C3%A1csol%C3%A1s>, Letöltés dátuma: 2018.01.02.

[13] <http://www.cnc.hu/2015/09/a-szikraforgacsolas-anyagai-i/>, Letöltés dátuma: 2018.01.08.

[14] http://www.tankonyvtar.hu/en/tartalom/tamop412A/20100017_50_lezersugaras_tecnologiak_I/ch01.html#id482562, Letöltés dátuma: 2018.01.12.

[15] <https://www.youtube.com/watch?v=mVwQBTwedDg>, Letöltés dátuma: 2018.01.07.

[16] <http://www.vtopfiber.com/uploadfile/2017/0224/20170224020209734.jpg>, Letöltés dátuma: 2018.01.05.

[17] <http://tudasbazis.sulinet.hu/hu/szakkepzes/gepeszet/gepeszeti-szakismeretek-1/sugaras-megmunkalasi-technologiak/vizsugaras-es-abraziv-sugaras-megmunkalások>, Letöltés dátuma: 2018.01.06.

[18] <https://www.sigmaaldrich.com/materials-science/material-science-products.html?TablePage=108832720>, Letöltés dátuma: 2018.01.11.

[19] <http://www.material.tohoku.ac.jp/~kaimenb/CVD.html>, Letöltés dátuma: 2018.01.15.

[20] http://cms.sulinet.hu/get/d/19d732d4-35b9-441d-9b50d516ae8cable/1/3/b/Large/az_elizalas_anyagvalasztasi_fo_nagyitott.png, Letöltés dátuma: 2018.01.12.

12. FEJEZET:

- [1] DULL S.: Üzemfenntartás, Karbantartáselmélet, gépbeszerzés, lecture, University of Debrecen, Faculty of Engineering
- [2] DULL S.: Üzemfenntartás, Karbantartási Rendszerek, lecture, University of Debrecen, Faculty of Engineering
- [3] GÖMÖRI T.: Üzemfenntartás I-III., lecture, University of Debrecen, Faculty of Engineering
- [4] Lifetime Reliability Solutions: Asset Maintenance Management, The Path toward Defect Elimination, The evolution of Maintenance Practices
- [5] MANKOVITS T.: Karbantartás Menedzsment, lecture, University of Debrecen, Faculty of Engineering
- [6] MENYHÁRT J.: Basics of Maintenance Engineering, notes, 2017. University of Debrecen, Faculty of Engineering
- [7] PÉCZELY Gy.: A Karbantartás korszerű irányzatai, A.A. Stádium Kft., IX., 2002.
- [8] POKORÁDI L.: Karbantartás elmélet, Elektronikus segédlet, Debrecen, 2002.
- [9] SZABOLCSI R., MENYHÁRT J.: The importance of maintenance during UGV use, Technical Sciences, Revista Academiei Fortelor Terestre, Nr. 4 (80)/2015

13. FEJEZET:

- [1] Fiix: Condition Based Maintenance and Monitoring Software, url: https://www.fiixsoftware.com/condition-based-maintenance3/?utm_expid=.2FaNnk1YQGmtVbmNPqDNVg.2&utm_referrer=https%3A%2F%2Fwww.fiixsoftware.com%2Fmeter-based-maintenance%2F (Downloaded: 2017.09.16.)
- [2] Fiix: Preventive maintenance (PM) url: <https://www.fiixsoftware.com/maintenance-strategies/preventative-maintenance/> (Downloaded: 2017.09.08.)
- [3] Fiix: Reliability Centered Maintenance (RCM), url: <https://www.fiixsoftware.com/maintenance-strategies/reliability-centered-maintenance/> (Downloaded: 2017.09.08.)
- [4] Fiix: Risk-based Maintenance, url: <https://www.fiixsoftware.com/maintenance-strategies/risk-based-maintenance/> (Downloaded: 2017.09.16.)
- [5] Fiix: Run to Failure Maintenance, url: <https://www.fiixsoftware.com/run-to-failure-maintenance/> (Downloaded: 2017.09.08.)
- [6] Fiix: Total Productive Maintenance, url: <https://www.fiixsoftware.com/maintenance-strategies/total-productive-maintenance/> (Downloaded: 2017.09.16.)
- [7] Fiix: What is CMMS?, url: <https://www.fiixsoftware.com/cmms/> (Download: 2017.09.16.)

[8] MENYHÁRT J.: Basics of Maintenance Engineering, notes, 2017. University of Debrecen, Faculty of Engineering

[9] TERRY, A.: Reliability Centered Maintenance – Introduction and Basics, lecture

[10] xponiSCHOLARS: Basic Technology: Periodic Maintenance: Definition, Types, and Methods of Maintenance, url: <http://www.xpinoscholars.com.ng/2014/12/basic-technology-periodic-maintenance.html#> (Downloaded: 2017.09.08.)

14. FEJEZET:

[1] Fiix: Mean Time Between Fail (MTBF), url: <https://www.fiixsoftware.com/mean-time-between-fail-maintenance/> (Downloaded: 2017.10.10.)

[2] Fiix: Mean Time To Repair maintenance, url: https://www.fiixsoftware.com/mean-time-to-repair-maintenance2/?utm_expId=.asYq2_OMQV2PjCvWROHahA.1&utm_referrer=https%3A%2F%2Fwww.fiixsoftware.com%2Fimportant-metrics-maintenance-department%2F (Downloaded: 2017.10.10.)

[3] Fiix: Measuring Maintenance Metrics, url: <https://www.fiixsoftware.com/important-metrics-maintenance-department/> (Downloaded: 2017.10.10.)

[4] Fiix: Overall Equipment Effectiveness, url: <https://www.fiixsoftware.com/advanced-cmms-metrics-overall-equipment-effectiveness/> (Downloaded: 2017.10.10.)

[5] MENYHÁRT J.: Basics of Maintenance Engineering, notes, 2017. University of Debrecen, Faculty of Engineering

[6] MENYHÁRT J.: TPM rendszer átalakítása az FAG Magyarország Ipari Kft-nél, thesis, 2014.

15. FEJEZET:

[1] EHAB, A.: Thesis, University of Debrecen Faculty of Engineering, 2016, Supervisor: József Menyhárt

[2] MENYHÁRT J.: Basics of Maintenance Engineering, notes, 2017. University of Debrecen, Faculty of Engineering

[3] MENYHÁRT J.: TPM rendszer átalakítása az FAG Magyarország Ipari Kft-nél, thesis, 2014.

[4] Shmula.com, lean six sigma. simplified, PDCA Cycle – Which is Right?, url: <http://www.shmula.com/pdca-cycle-or-pdsa-cycle-which-is-right/13653/> (Downloaded: 2017.10.15.)

16. FEJEZET:

[1] Factorysolutions: 5S: Seiri, Seiton, Seiso, Seiketsu, Shitsuke, url: <https://factorysolutions.com/lean-manufacturing/5s/> (Downloaded: 2017.10.23.)

[2] MENYHÁRT J.: Basics of Maintenance Engineering, notes, 2017. University of Debrecen, Faculty of Engineering

[3] MENYHÁRT J.: TPM rendszer átalakítása az FAG Magyarország Ipari Kft-nél, thesis, 2014.

17. FEJEZET:

[1] Leanmanufacturingtools.org: The seven wastes of lean, What is a non-value addign operation?, Leanman 2015.

[2] MENYHÁRT J.: Basics of Maintenance Engineering, notes, 2017. University of Debrecen, Faculty of Engineering

[3] MENYHÁRT J.: TPM rendszer átalakítása az FAG Magyarország Ipari Kft-nél, thesis, 2014.