

Minőségjavító kísérlettervezés

Minőségjavító kísérlettervezés

TAGUCHI ÉS SHAININ

Taguchi

1

	A	B	C	D	E	F	G	selejt %
1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	16.0
2	+1	-1	-1	+1	+1	-1	+1	17.0
3	-1	+1	-1	+1	-1	+1	+1	12.0
4	+1	+1	-1	-1	+1	+1	-1	6.0
5	-1	-1	+1	-1	+1	+1	+1	6.0
6	+1	-1	+1	+1	-1	+1	-1	68.0
7	-1	+1	+1	+1	+1	-1	-1	42.0
8	+1	+1	+1	-1	-1	-1	+1	26.0

Taguchi

4

Taguchi módszere a minőség kísérletes javítására

1. példa

Ina Tile: sok a selejt – a kemence különböző pontjain a hőmérséklet nem azonos

A kemence áttervezése és átépítése helyett a csempe-massza receptúráját változtatták meg úgy, hogy az ne legyen annyira érzékeny az égetés hőmérsékletére.

csempe

Taguchi

2

	hatás	<i>b</i>	sorrend	választandó
átlag/tengelymetszet	24.125	24.125		
A agalmatolit típusa	10.250	5.125	V	-1 (jelenlegi)
B adalék szemcsézettisége	-5.250	-2.625	VI	+1 (finom)
C mészkő mennyisége	22.750	11.375	I	-1 (5%)
D selejt-visszaforgatás	21.250	10.625	II	-1 (0%)
E betöltött mennyiség	-12.750	-6.375	IV	+1 (1200 kg)
F agalmatolit mennyisége	-2.250	-1.125	VII	+1 (53%)
G földpát mennyisége	-17.750	-8.875	III	+1 (5%)

Nem az okot, hanem a következményt enyhítették

Taguchi

5

$$x_4 = -x_1x_2 \quad x_5 = -x_1x_3 \quad x_6 = -x_2x_3 \quad x_7 = x_1x_2x_3$$

2^{7-4} terv (régi szint a szürke):

	faktor	-1	+1
A	agalmatolit típusa	jelenlegi	olcsóbb
B	az adalék szemcsézettisége	durva	finom
C	mészkő mennyisége	5%	1%
D	selejt-visszaforgatás	0%	4%
E	betöltött mennyiség	1300 kg	1200 kg
F	agalmatolit mennyisége	43%	53%
G	földpát mennyisége	0%	5%

(az agalmatolit drága)

Taguchi

3

	<i>b</i>	Választott szint (x_i)	$b \cdot x_i$
átlag/tengelymetszet	24.125		
A agalmatolit típusa	5.125	-1	-5.125
B adalék szemcsézettisége	-2.625	1	-2.625
C mészkő mennyisége	11.375	-1	-11.375
D selejt-visszaforgatás	10.625	-1	-10.625
E betöltött mennyiség	-6.375	1	-6.375
F agalmatolit mennyisége	-1.125	-1	1.125
G földpát mennyisége	-8.875	1	-8.875
becsült			-19.75

Meglepő!

Nem normális (hanem binomiális) eloszlás szerinti ingadozás, σ nem konstans!

$$\text{Var}\left(\frac{k}{n}\right) = \frac{p(1-p)}{n}$$

$$y = \arcsin \sqrt{p}$$

Taguchi

6

Minőségjavító kísérlettervezés

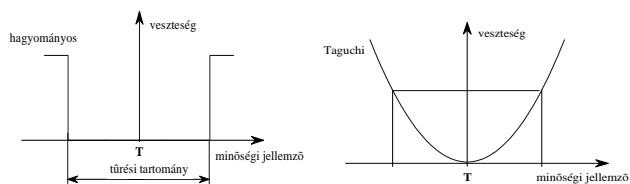
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	AGALM_TY	GRANUL_A	LIME_ADD	WASTE_RE	CHARGE	AGALM_CO	FELDSPAR	DEF_NO	TRAF_DEF
1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	26.2
2	1	-1	-1	1	1	-1	1	17	27.1
3	-1	1	-1	1	-1	1	1	12	22.5
4	1	1	-1	-1	1	1	-1	6	15.8
5	-1	-1	1	1	-1	1	1	6	15.8
6	1	-1	1	1	-1	1	-1	68	61.7
7	-1	1	1	1	1	-1	-1	42	44.9
8	1	1	1	-1	-1	-1	1	26	34.1

$$\text{TRAF_DEF} = \text{ArcSin}(\text{Sqrt}(v8/100)) * 200/\text{Pi}$$

Taguchi

7

A Taguchi-féle minőség-fogalom és a négyzetes veszteségfüggvény



$$L(y) = k(y-T)^2$$

Taguchi

10

$$y = \arcsin \sqrt{p} \quad (\text{grad: } 100 \text{ a derékszög})$$

	hatás	b	választott szint (x_i)	$b * x_i$
átlag/tengelymetszet	30.975	30.975		
A agalmatolit típusa	7.300	3.650	-1	-3.650
B adalék szemcsézettség	-3.350	-1.675	1	-1.675
C mészkő mennyisége	16.250	8.125	-1	-8.125
D selejt-visszaforgatás	16.100	8.050	-1	-8.050
E betöltött mennyiség	-10.300	-5.150	1	-5.150
F agalmatolit mennyisége	-4.150	-2.075	-1	2.075
G földpát mennyisége	-12.300	-6.150	1	-6.150
becsült				0.250

Visszatranszformálva: $2.2 \cdot 10^{-3} \%$ a becsült selejtarány.

Taguchi

8

y a kérdéses minőségi jellemző, T az előírt értéke (target), a veszteségfüggvény Taylor-polinommal közelíthető:

$$L(y) = L(T) + L'(T)(y-T) + L''(T) \frac{(y-T)^2}{2!} + \dots$$

$$L(T) = L'(T) = 0$$

a másodfokúnál magasabb tagokat elhagyjuk

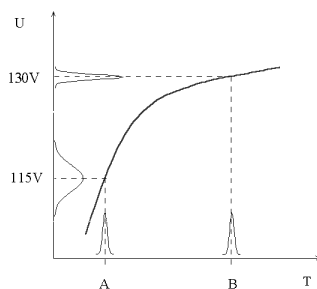
$$L(y) = k(y-T)^2$$

A k együttható meghatározásához egyetlen összetartozó L -y értékpár elegendő

Taguchi

11

Taguchi tranzistor-példája: a tranzistor teljesítmény-tényezője függvényében az áramkör kimenő feszültsége:



A kimenő feszültség előírt értéke 115V

Nem az okot szüntettük meg, hanem a következményt csökkentettük

Taguchi

9

2. példa

A televízió-készülékek tápegységének előírt kimenő feszültsége 115 V. Amennyiben az eltérés 10 V, a vevő a szervízhez fordul, a javítás költsége ekkor 100 \$.

Határozzuk meg a veszteség-függvény k tényezőjének értékét!

$$100\$ = k 10^2 \quad \text{és} \quad k = \$/V^2.$$

3. példa

Milyen eltérést szabad a gyártónak az üzemen megengednie, ha a helyi javítási (pótlási) költség 10 \$?

$$\rightarrow \Delta = \quad V \quad \text{tolerance design}$$

Taguchi

12

Minőségjavító kísérlettervezés

A minőségi jellemző a termék-sokaságra valószínűségi változó.

A veszteség-függvény értéke is valószínűségi változó.

Várható értéke:

$$E[L(y)] = k E[(y-T)^2] = k \{E[(y-\mu)^2] + (\mu-T)^2\} = k[\sigma^2 + (\mu-T)^2]$$

közepes négyzetes hiba (mean square error)

A veszteség-függvény várható értéke tehát annál nagyobb, minél nagyobb az ingadozás és minél nagyobb az átlagnak az előírt értéktől való eltérése.

Számolni lehet vele!

Taguchi

13

Faktorok a minőségjavító kísérlettervezésnél

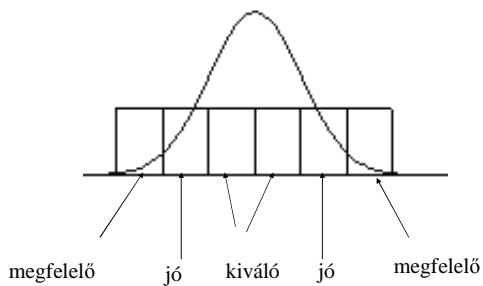
Két fő csoport

- kézben tartható faktorok (pl. a csempe összetétele ill. a sablon mérete)
- zaj-faktorok: az adott technológiai megvalósításnál nem állíthatók be (pl. a kemence különböző részeinek hőmérséklete)

Taguchi

16

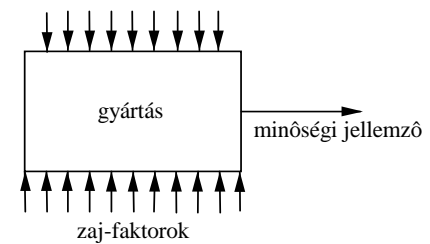
Egyenletes és normális eloszlás szerint ingadozó minőségi jellemző



Taguchi

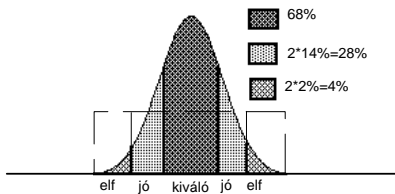
14

kézben tartható faktorok



Taguchi

17



A veszteség-függvény várható értékének becslése n adatból álló mintára (átlagos veszteség):

$$\bar{L}(y) = \frac{k}{n} \sum_i (y_i - T)^2 = k \left[\frac{n-1}{n} s^2 + (\bar{y} - T)^2 \right]$$

Taguchi

15

A zaj-típusok:

- külső zaj: terméknél különböző használati körülmények, környezeti feltételek, gyártásnál is a környezeti feltételek változása;
- belső zaj: terméknél időbeli vagy a használat során bekövetkező változások, gyártásnál a berendezés kopása, elállítódása;
- egyenkénti különbség: az egy időben, azonos körülmények között gyártott termék-példányok minőségi jellemzőjének ingadozása.

Taguchi

18

Minőségjavító kísérlettervezés

A cél

- különböző környezeti feltételek között jól működő,
- a használat során kevésbé romló,
- egyedenként kevésbé ingadozó minőségű termék ill. gyártás kialakítása

Taguchi

19

A zaj az ismétlések szórásában tükröződik

4. példa

Egy gépkocsi-ipari beszállítónál furatba préselnek egy tengelyt, a cél a kiszakítási nyomaték előírt minimális értékének elérése.

jel	faktor neve	1. szintje	2. szintje
A	ragasztó típusa	Permabond A121	Loctite 263
B	ragasztó tömege	0.064 g	0.04 g
C	tengely-tisztítás	ahogy szállítják	tisztítva
D	ház-tisztítás	ahogy szállítják	tisztítva
E	bepréselési nyomás	40 NM	45 NM
F	állási idő	24 h	12 h
G	ragasztó alkalmazási módja	rácsöppentve	körülkenve

Taguchi

22

Mely faktorok hatnak

- a szórásra
- az átlagra
- mindkettőre
- egyikre sem.

A felderítés módszere a jól tervezett kísérletsorozat.

Taguchi

20

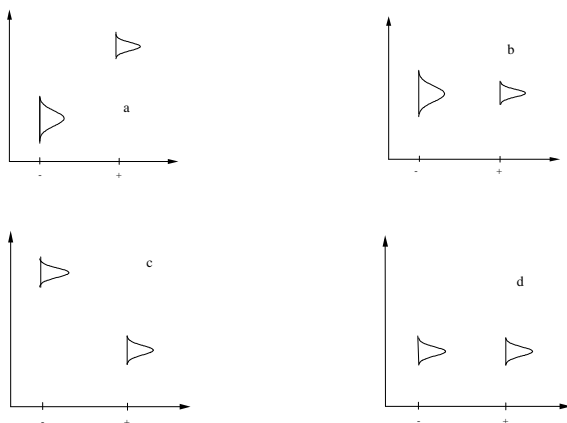
Minden beállítást 10-szer valósítanak meg (milyen ismétlés a jó?).
A mérési eredmények: kiszakítási nyomaték, Nm

A	B	C	D	E	F	G	y							átlag	szórás			
1	1	1	1	1	1	1	50	44	54	52	58	54	52	46	46	50	50.6	4.33
2	1	1	1	2	2	2	50	42	44	48	40	46	52	50	42	42	45.6	4.20
3	1	2	2	1	1	2	40	40	52	44	50	34	48	60	54	48	47.0	7.67
4	1	2	2	2	2	1	40	28	52	50	38	46	38	36	34	30	39.2	8.01
5	2	1	2	1	2	1	42	40	46	40	44	40	40	40	36	42	41.0	2.71
6	2	1	2	2	1	2	40	36	30	32	30	38	30	40	30	38	34.4	4.40
7	2	2	1	1	2	2	36	34	36	34	38	34	38	36	30	38	35.4	2.50
8	2	2	1	2	1	1	30	34	24	34	30	30	32	32	30	30	30.6	2.84

átlag=mean(v8:v17)
szórás=stdev(v8:v17)

Taguchi

23



Taguchi

21

A zajterv szerint generáljuk (szorzat-terv)

5. példa

(Box és Jones, Journal of Applied Statistics, 19 3-25, 1992)

A süteményporok felhasználásánál problémát okoz, hogy a háziasszonyok nem tartják be pontosan az előírt sütő-hőmérsékletet és sütési időt. A feladat olyan süteménypor-összetétel kidolgozása, amely ilyen szempontból robusztus.

Kézbentartható faktorok: a tojáspor mennyisége, a liszt mennyisége és a zsiradék mennyisége; zaj-faktorok: a sütés hőmérséklete és időtartama.

A függő változó: a sütemény élvezeti értéke 1-7 skálán.

Taguchi

24

Minőségjavító kísérlettervezés

A terv és az eredmények:

			idő hőm.				átlag	szórás
tojás	liszt	zsír.	-	+	-	+		
1	-	-	-	-	-	-	1.800	0.883
2	+	-	-	-	-	-	4.350	1.991
3	-	+	-	-	-	-	1.425	0.222
4	+	+	-	-	-	-	3.800	0.294
5	-	-	+	-	-	-	2.950	1.245
6	+	-	+	-	-	-	5.350	1.038
7	-	+	+	-	-	-	2.275	0.299
8	+	+	+	-	-	-	5.625	0.350

Az eredményeket átlagra és szórásra dolgozzuk föl (nem igazí szórás, de ...).

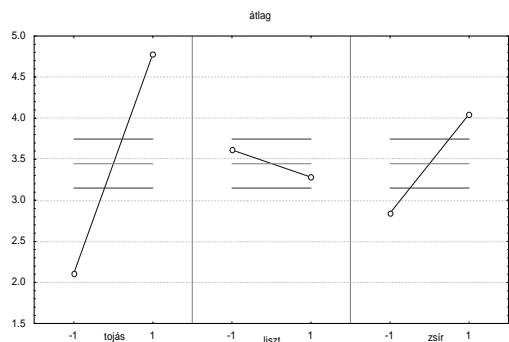
Taguchi

25

	1 tojás	2 liszt	3 zsír	4 y11	5 y21	6 y12	7 y22	8 átlag	9 szórás
1	-1	-1	-1	1.3	1.6	1.2	3.1	1.8	0.883
2	1	-1	-1	2.2	5.5	3.2	6.5	4.35	1.991
3	-1	1	-1	1.3	1.2	1.5	1.7	1.425	0.222
4	1	1	-1	3.7	3.5	3.8	4.2	3.8	0.294
5	-1	-1	1	1.6	3.5	2.3	4.4	2.95	1.245
6	1	-1	1	4.1	6.1	4.9	6.3	5.35	1.038
7	-1	1	1	1.9	2.4	2.6	2.2	2.275	0.299
8	1	1	1	5.2	5.8	5.5	6	5.625	0.350

Taguchi

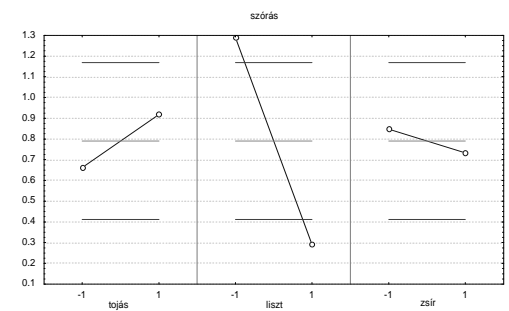
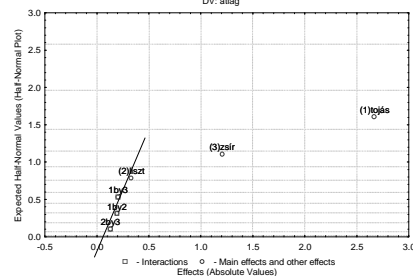
28



Taguchi

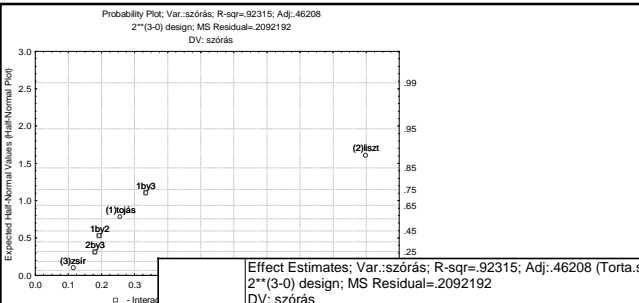
26

Factor	Effect	Std.Err.	t(1)	p	Coef.
Mean/Interc.	3.446875	0.140625	24.51111	0.02595E	3.446875
(1)tojás	2.668750	0.281250	9.48888	0.066844	1.334375
(2)liszt	-0.331250	0.281250	-1.17778	0.44814E	-0.165625
(3)zsír	1.206250	0.281250	4.28888	0.14582E	0.603125
1 by 2	0.193750	0.281250	0.68888	0.61597E	0.096875
1 by 3	0.206250	0.281250	0.73333	0.59718E	0.103125
2 by 3	0.131250	0.281250	0.46667	0.72203E	0.065625



Taguchi

27



Factor	Effect	Std.Err.	t(1)	p	Coef.
Mean/Interc.	0.790167	0.161717	4.88611	0.128517	0.790167
(1)tojás	0.256080	0.323434	0.79175	0.573661	0.128040
(2)liszt	-0.997967	0.323434	-3.08553	0.199524	-0.498984
(3)zsír	-0.114723	0.323434	-0.35470	0.783003	-0.057362
1 by 2	-0.194056	0.323434	-0.59999	0.655965	-0.097026
1 by 3	-0.334066	0.323434	-1.03287	0.489706	-0.167033
2 by 3	0.180963	0.323434	0.55951	0.675253	0.090482

Taguchi

30

Minőségjavító kísérlettervezés

Vegyük észre, hogy a szorzat-terv fölfogható egyetlen 2^5 tervként is!

	TOJAS	LISZT	ZSIR	HOM	IDO	y
1	-1	-1	-1	-1	-1	1.3
2	1	-1	-1	-1	-1	2.2
3	-1	1	-1	-1	-1	1.3
4	1	1	-1	-1	-1	3.7
5	-1	-1	1	-1	-1	1.6
6	1	-1	1	-1	-1	4.1
7	-1	1	1	-1	-1	1.9
8	1	1	1	-1	-1	5.2
9	-1	-1	-1	1	-1	1.6
10	1	-1	-1	1	-1	5.5
11	-1	1	-1	1	-1	1.2
12	1	1	-1	1	-1	3.5
13	-1	-1	1	1	-1	3.5
14	1	-1	1	1	-1	6.1
15	-1	1	1	1	-1	2.4
16	1	1	1	1	-1	5.8

	TOJAS	LISZT	ZSIR	HOM	IDO	y
17	-1	-1	-1	1	-1	1.2
18	1	-1	-1	1	-1	3.2
19	-1	1	-1	1	-1	1.5
20	1	1	-1	1	-1	3.8
21	-1	-1	1	1	-1	2.3
22	1	-1	1	1	-1	4.9
23	-1	1	1	1	-1	2.6
24	1	1	1	1	-1	5.5
25	-1	-1	-1	1	1	3.1
26	1	-1	-1	1	1	6.5
27	-1	1	-1	1	1	1.7
28	1	1	-1	1	1	4.2
29	-1	-1	1	1	1	4.4
30	1	-1	1	1	1	6.3
31	-1	1	1	1	1	2.2
32	1	1	1	1	1	6.0

Taguchi 31

$$\hat{Y} = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_3x_3 + c_4z_4 + c_5z_5 + d_{25}x_2z_5$$

	Effect	p	Coeff.
Mean/Interc.	3.4469	.000000	3.4469
(1)TOJAS	2.6688	.000000	1.3344
(2)LISZT	-.3313	.070917	-.1656
(3)ZSIR	1.2063	.000003	.6031
(4)HOM	.5313	.006841	.2656
(5)IDO	1.1063	.000008	.5531
1 by 2	.1938	.274486	.0969
1 by 3	.2063	.245879	.1031
1 by 4	.0063	.971333	.0031
1 by 5	.3063	.092623	.1531
2 by 3	.1313	.454508	.0656
2 by 4	-.2188	.219620	-.1094
2 by 5	-.9188	.000063	-.4594
3 by 4	-.0812	.641531	-.0406
3 by 5	-.0312	.857472	-.0156
4 by 5	.0687	.693343	.0344

$$Var(\hat{Y}) = \sum_j \left(\frac{\partial \hat{Y}}{\partial z_j} \right)^2 \sigma_{z_j}^2$$

$$Var(\hat{Y}) = c_4^2 \sigma_{z_4}^2 + (c_5 + d_{25}x_2) \sigma_{z_5}^2 =$$

$$= 0.2656^2 \sigma_{z_4}^2 + (0.5531 - 0.4594x_2)^2 \sigma_{z_5}^2$$

A minimum $x_2=1$ -nél van (több liszt)

Taguchi 34

	Effect	p	Coeff.
Mean/Interc.	3.4469	.000000	3.4469
(1)TOJAS	2.6688	.000000	1.3344
(2)LISZT	-.3313	.070917	-.1656
(3)ZSIR	1.2063	.000003	.6031
(4)HOM	.5313	.006841	.2656
(5)IDO	1.1063	.000008	.5531
1 by 2	.1938	.274486	.0969
1 by 3	.2063	.245879	.1031
1 by 4	.0063	.971333	.0031
1 by 5	.3063	.092623	.1531
2 by 3	.1313	.454508	.0656
2 by 4	-.2188	.219620	-.1094
2 by 5	-.9188	.000063	-.4594
3 by 4	-.0812	.641531	-.0406
3 by 5	-.0312	.857472	-.0156
4 by 5	.0687	.693343	.0344

liszt-idő kölcsönhatás → a liszt befolyása az ingadozás mértékére

Taguchi 32

6. példa
Y. Wu, A. Wu: Taguchi methods for robust design, ASME Press, 2000, p. 25
Extrudálás optimalizálása (külső átm. [cm]) WuWu_p25.sta

	1 screw	2 rpm	3 1	4 2
1 A1		32	1.596	1.604
2 A1		33	1.646	1.654
3 A1		34	1.696	1.704
4 A1		35	1.746	1.754
5 A2		32	1.586	1.594
6 A2		33	1.656	1.664
7 A2		34	1.706	1.714
8 A2		35	1.736	1.744
9 A3		32	1.916	1.924
10 A3		33	1.976	1.984
11 A3		34	2.036	2.044
12 A3		35	2.096	2.104
13 A4		32	1.598	1.602
14 A4		33	1.648	1.652
15 A4		34	1.698	1.702
16 A4		35	1.748	1.752

Kézbentartható faktorkok: csiga típusa (4 szinten) fordulatszám (4 szinten)
Zaj-faktor: kombinált, kétszintes

	N_1	N_2
Time	1h	48h
Moisture	dry	0.2%

Taguchi 35

b_{25}	-0.166
b_5	0.553
b_{25}	-0.459

Az idő változásának következménye

(x_2) liszt	(x_5) idő	$b_{25}x_2$	b_5x_5	$b_{25}x_2x_5$	Y része	
-	-	0.166	-0.553	-0.459	-0.846	2.024
+	+	0.166	0.553	0.459	1.178	0.188
-	-	-0.166	-0.553	0.459	-0.260	
+	+	-0.166	0.553	-0.459	-0.072	

Lehetne 2^5 helyett 2^{5-1} tervet is használni!

Taguchi 33

screw*rpm: Weighted Means
Current effect: $F(9, 16)=5.7692, p=.00122$
Effective hypothesis decomposition
Vertical bars denote 0.95 confidence intervals

Taguchi 36

Minőségjavító kísérlettervezés

	1	2	3	4	5	6
	screw	rpm	mean	sd	lnsd	rpm_mean
1	A1	32	1.60	0.0057	-5.1749	-1.5
2	A1	33	1.65	0.0057	-5.1749	-0.5
3	A1	34	1.70	0.0057	-5.1749	0.5
4	A1	35	1.75	0.0057	-5.1749	1.5
5	A2	32	1.59	0.0057	-5.1749	-1.5
6	A2	33	1.66	0.0057	-5.1749	-0.5
7	A2	34	1.71	0.0057	-5.1749	0.5
8	A2	35	1.74	0.0057	-5.1749	1.5
9	A3	32	1.92	0.0057	-5.1749	-1.5
10	A3	33	1.98	0.0057	-5.1749	-0.5
11	A3	34	2.04	0.0057	-5.1749	0.5
12	A3	35	2.10	0.0057	-5.1749	1.5
13	A4	32	1.60	0.0028	-5.8680	-1.5
14	A4	33	1.65	0.0028	-5.8680	-0.5
15	A4	34	1.70	0.0028	-5.8680	0.5
16	A4	35	1.75	0.0028	-5.8680	1.5

átlagra és szórásra dolgozzuk föl

Taguchi 37

7. példa
Y. Wu, A. Wu: Taguchi methods for robust design (ASME Press, 2000), p. 169

Aranyozás
Cél: a bevonat vastagsága legyen legalább 50 µm, minél kisebb ingadozással

Taguchi 40

Effect	Level of Effect	Column	Comment (B/Z/P)	mean Param.	sd Param.
Intercept		1		-0.0000	
screw	A1	2	Biased	-0.0000	
screw	A2	3	Biased	-11.2100	
screw	A3	4	Biased	0.0000	
screw	A4	5	Zeroed	0.0000	
screw*rpm	1	6		0.0500	
screw*rpm	2	7		0.7200	
screw*rpm	3	8		0.0600	
screw*rpm	4	9		0.0500	
screw*rpm^2	1	10		-0.0000	
screw*rpm^2	2	11	Biased	-0.0000	
screw*rpm^2	3	12	Biased	-0.0100	
screw*rpm^2	4	13	Biased	0.0000	
screw*rpm^2	4	14	Zeroed	0.0000	
screw	A1	2	Biased	0.002828	
screw	A2	3	Biased	0.002828	
screw	A3	4	Biased	0.002828	
screw	A4	5	Zeroed	0.000000	
rpm	1	6		-0.000000	
screw*rpm	1	7	Biased	0.000000	
screw*rpm	2	8	Biased	0.000000	
screw*rpm	3	9	Biased	0.000000	
screw*rpm	4	10	Zeroed	0.000000	

Parameter Estimates (WuWu_p25_extrusion_meansd.s) (*Zeroed predictors failed tolerance check) Over-parameterized model

Parameter Estimates (WuWu_p25_extrusion_meansd.s) (*Zeroed predictors failed tolerance check) parameterized model

Taguchi 38

Faktorok és szintjeik

	1	2	3	
A	Gold concentration	0.7-0.75	1.1-1.15	
B	Current density	2.0	1.5	1.0
C	Temperature	95	105	115
D	Barrel speed	10	15	20
E	Anode size	1/4	1/2	1/1
F	Load size	1/4	1/3	1/2
G	pH	4.2	4.3	4.4
H	Nickel concentration	600	650	700
N	Location	off-center	center	

mindkét helyzetből két minta

Taguchi 41

$$mean = -11.21 \cdot (screw = A_2) + [0.05 \cdot (sc = A_1) + 0.72 \cdot (sc = A_2) + 0.06 \cdot (sc = A_3) + 0.05 \cdot (sc = A_4)] \cdot rpm - 0.01 \cdot (screw = A_2) \cdot rpm^2$$

$$sd = 0.0028 + 0.0028 \cdot (screw \neq A_4)$$

Taguchi 39

A terv és az eredmények

	A	B	C	D	E	F	G	H	N ₁	N ₂		
1	1	1	1	1	1	1	1	1	83	88	90	91
2	1	1	2	2	2	2	2	2	73	73	83	81
3	1	1	3	3	3	3	3	3	57	58	65	69
4	1	2	1	1	2	2	3	3	55	59	61	67
5	1	2	2	2	3	3	1	1	73	75	76	79
6	1	2	3	3	1	1	2	2	58	60	68	72
7	1	3	1	2	1	3	2	3	44	49	55	58
8	1	3	2	3	2	1	3	1	50	54	57	64
9	1	3	3	1	3	2	1	2	64	65	66	68
10	2	1	1	3	3	2	2	1	74	79	86	94
11	2	1	2	1	1	3	3	2	75	78	90	94
12	2	1	3	2	2	1	1	3	70	76	52	88
13	2	2	1	2	3	1	3	2	71	80	87	95
14	2	2	2	3	1	2	1	3	48	56	59	65
15	2	2	3	1	2	3	2	1	66	67	79	86
16	2	3	1	3	2	3	1	2	45	53	58	64
17	2	3	2	1	3	1	2	3	60	67	66	73
18	2	3	3	2	1	2	3	1	57	65	79	83

Taguchi 42

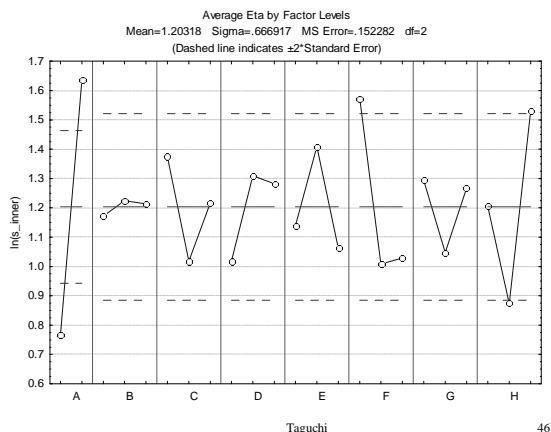
Minőségjavító kísérlettervezés

N	A	B	C	D	E	F	G	H	y ₁	y ₂	y ₃	y ₄	s	s ₁	s ₂	S _{max}	\bar{y}_1	\bar{y}_2	\bar{y}	s _T
1	1	1	1	1	1	1	1	1	83	88	90	91	3.56	3.536	0.707	2.550	85.5	90.5	88.00	3.536
2	1	1	2	2	2	2	2	2	73	73	83	81	5.26	0.000	1.414	1.000	73.0	82.0	77.50	6.364
3	1	1	3	3	3	3	3	3	57	58	65	69	5.74	0.707	2.828	2.062	57.5	67.0	62.25	6.718
4	1	2	1	1	2	2	3	3	55	59	61	67	5.00	2.828	4.243	3.606	57.0	64.0	60.50	4.950
5	1	2	2	2	3	3	1	1	73	75	76	79	2.50	1.414	2.121	1.803	74.0	77.5	75.75	2.475
6	1	2	3	3	1	1	2	2	58	60	68	72	6.61	1.414	2.828	2.236	59.0	70.0	64.50	7.778
7	1	3	1	2	1	3	2	3	44	49	55	58	6.24	3.536	2.121	2.915	46.5	56.5	51.50	7.071
8	1	3	2	3	2	1	3	1	50	54	57	64	5.91	2.828	4.950	4.031	52.0	60.5	56.25	6.010
9	1	3	3	1	3	2	1	2	64	65	66	68	1.71	0.707	1.414	1.118	64.5	67.0	65.75	1.768
10	2	1	1	3	3	2	2	1	74	79	86	94	8.69	3.536	5.657	4.717	76.5	90.0	83.25	9.546
11	2	1	2	1	1	3	3	2	75	78	90	94	9.18	2.121	2.828	2.500	76.5	92.0	84.25	10.960
12	2	1	3	2	2	1	1	3	70	76	52	88	15.00	4.243	25.456	18.248	73.0	70.0	71.50	2.121
13	2	2	1	2	3	1	3	2	71	80	87	95	10.21	6.364	5.657	6.021	75.5	91.0	83.25	10.960
14	2	2	3	1	2	1	3	48	56	59	65	7.07	5.657	4.243	5.000	52.0	62.0	57.00	7.071	
15	2	3	1	2	3	2	1	66	67	79	86	9.68	0.707	4.950	3.536	66.5	82.5	74.50	11.314	
16	2	3	1	3	2	3	1	2	45	53	58	64	8.04	5.657	4.243	5.000	49.0	61.0	55.00	8.485
17	2	3	2	1	3	1	2	3	60	67	66	73	5.32	4.950	4.950	4.950	63.5	69.5	66.50	4.243
18	2	3	3	2	1	2	3	1	57	65	79	83	12.11	5.657	2.828	4.472	61.0	81.0	71.00	14.142

Taguchi

43

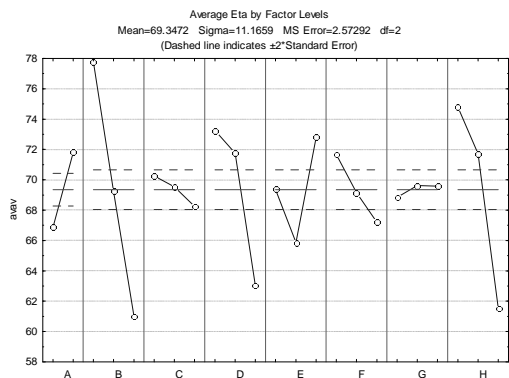
Kiértékelés a helyeken belüli ingadozásra



Taguchi

46

Kiértékelés az átlagos vastagságra



Taguchi

44

A minőségjavító kísérlettervezés célfüggvényei

Névleges a legjobb

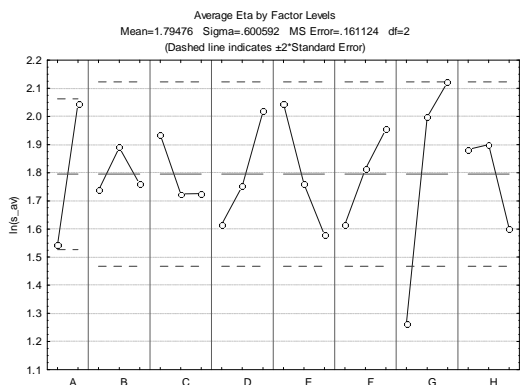
$$E[L(y)] = k E[(y - T)^2] = k[\sigma^2 + (\mu - T)^2] = \min$$

Ha a variancia nem függ a várható értéktől, azt kell először minimalizálni, majd a várható értéket szerint optimalisan beállítani.

Taguchi

47

Kiértékelés a vastagság helyek közötti szórására



Taguchi

45

Ha $\sigma \sim \mu$, a variancia helyett a σ/μ arányt kell minimalizálni.

Reciproka a μ/σ ún. jel/zaj viszony (signal/noise: SN), illetve annak logaritmusa (ún. decibel skála)

$$SN = -10 \lg \frac{s^2}{\bar{y}^2} = 10 \lg \frac{\bar{y}^2}{s^2}$$

Taguchi

48

Minőségjavító kísérlettervezés

Minél kisebb, annál jobb (Smaller the better) eset

$$E[L(y)] = k E[(y - T)^2] = k[\sigma^2 + (\mu - T)^2] = \min$$

itt $T=0$

$$E[L(y)] = k E[y^2] = k \{E[(y - \mu)^2] + \mu^2\} = k[\sigma^2 + \mu^2]$$

$$\bar{L}(y) = \frac{k}{n} \sum_i y_i^2 = k \left(\frac{n-1}{n} s^2 + \bar{y}^2 \right)$$

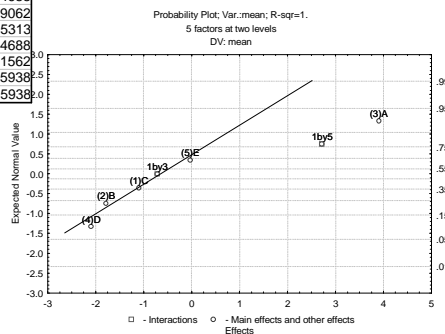
Taguchi: $SN_s = -10 \lg \left[\frac{1}{n} \sum_i y_i^2 \right] = \max$

Taguchi

49

Effect Estimates; Var.:mean; R-sqr=1. (Taguchi_p127.st)
5 factors at two levels
DV: mean

Factor	Effect	Coeff.
Mean/Interc.	9.57813	9.57813
(1)C	-1.09375	-0.54688
(2)B	-1.78125	-0.89062
(3)A	3.90625	1.95313
(4)D	-2.09375	-1.04688
(5)E	-0.03125	-0.01562
1 by 3	-0.71875	-0.35938
1 by 5	2.71875	1.35938



Taguchi

52

8. példa

G. Taguchi: Introduction to quality engineering
Asian Productivity Organization, 1986, p. 127

Szivattyú kopásának optimalizálása Taguchi_p127.sta

Kézbentartható faktorok: A-E 2 szinten

Zaj-faktor: a tengely 8 pontja

y: kopás [µm]

Standard Run	Design: 2**(3-0) design (Spreadsheet1)								mean	sd	lnsd					
	A	B	C	D	E	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8			
1	-1	-1	-1	-1	-1	12	12	10	13	3	3	16	20	11.125	5.866065	1.769184
2	-1	-1	1	1	1	6	10	3	5	3	4	20	18	8.625	6.802048	1.917224
3	-1	1	-1	1	1	9	10	5	4	2	1	3	2	4.5	3.338092	1.205399
4	-1	1	1	-1	-1	8	8	5	4	3	4	9	9	6.25	2.492847	0.913425
5	1	-1	-1	-1	1	16	14	8	8	3	2	20	33	13	10.21204	2.323567
6	1	-1	1	1	-1	18	26	4	2	3	3	7	10	9.125	8.626165	2.1548
7	1	1	-1	1	-1	14	22	7	5	3	4	19	21	11.875	8.043409	2.084853
8	1	1	1	-1	1	16	13	5	4	11	4	14	30	12.125	8.64271	2.156716

Taguchi

50

Minél nagyobb, annál jobb (Larger the better) eset

Taguchi: $T=\infty$, vagyis $1/T=0$ az elérendő:

$$E[L(y)] = k E[(y - T)^2] = k[\sigma^2 + (\mu - T)^2] = \min$$

σ^2 és μ külön tanulmányozható

Taguchi: $SN_L = -10 \lg \left[\frac{1}{n} \sum_i \frac{1}{y_i^2} \right]$

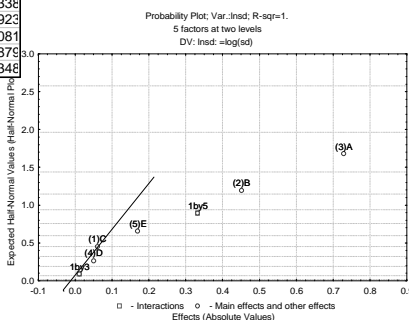
A mutató igen érzékeny a kiugró értékekre!

Taguchi

53

Effect Estimates; Var.:lnsd; R-sqr=1. (Taguchi_p127.st)
5 factors at two levels
DV: ln(sd) = log(sd)

Factor	Effect	Coeff.
Mean/Interc.	1.815646	1.815646
(1)C	-0.060210	-0.030105
(2)B	-0.451095	-0.225548
(3)A	0.728676	0.364338
(4)D	0.049846	0.024923
(5)E	0.170161	0.085081
1 by 3	0.011758	0.005879
1 by 5	0.332696	0.166348



Taguchi

51

A veszteségfüggvény alkalmazása diszkrét változókra

A mintában talált selejtes darabok aránya binomiális eloszlást követ.

$\frac{1}{1-p}$ darabot kell ahhoz gyártani, hogy 1 jó legyen

A veszteség: $L(p) = k \frac{p}{1-p}$ (logit vagy omega transzformáció)

ahol k az egy darab előállításának költsége




$SN = -10 \lg \frac{p}{1-p}$

$y = \arcsin \sqrt{p}$ is használható

Taguchi

54

Minőségjavító kísérlettervezés

eset	L	\bar{L}	SV (Taguchi)	javasolt
névleges a legjobb 	$k(y-T)^2$	$\frac{k}{n} \sum_i (y_i - T)^2 =$ $= k \sum_i \left[s^2 \frac{n-1}{n} + (\bar{y} - T)^2 \right]$	$-10 \lg s_y^2$ vagy $10 \lg \frac{\bar{y}^2}{s^2}$	$-10 \lg s_y^2$ (ha $\alpha=0$) $-10 \lg s_{m,y}^2$ (ha $\alpha=1$)
minél kisebb, annál jobb 	ky^2	$\frac{k}{n} \sum_i y_i^2 = k \left(s^2 \frac{n-1}{n} + \bar{y}^2 \right)$	$-10 \lg \left(\frac{1}{n} \sum_i y_i^2 \right) =$ $= -10 \lg (s^2 + \bar{y}^2)$	
minél nagyobb, annál jobb 	$\frac{k}{y^2}$	$\frac{k}{n} \sum_i \frac{1}{y_i^2}$	$-10 \lg \left(\frac{1}{n} \sum_i \frac{1}{y_i^2} \right)$	
selejtarány	$k \frac{p}{1-p}$	$k \frac{\hat{p}}{1-\hat{p}}$	$-10 \lg \frac{\hat{p}}{1-\hat{p}}$	