

CORRIGE

- **Ces éléments de correction n'ont qu'une valeur indicative. Ils ne peuvent en aucun cas engager la responsabilité des autorités académiques, chaque jury est souverain.**

1 Etude de découpage de l'ébauche de la platine

Avant l'usinage sur machine transfert d'une platine de montre à quartz, les ébauches sont obtenues par découpage.

Les caractéristiques de la bande et de la découpe sont (voir les dessins de l'ébauche et de la mise en bande pages 3 et 6) :

Données :

- Matière : Cu Zn 33 Pb2
- épaisseur : 1.75 mm
- résistance au cisaillement : 280 MPa
- périmètre découpé : 242 mm

1.1 Calculez l'effort de découpage de l'ébauche.

$$F = L \cdot e \cdot R_c = 242 \times 1,75 \times 280 = 118\,580\text{N}$$

1.2 Déterminez l'effort de dévêtissage de la bande. (estimé à 7% de l'effort de découpage)

$$F_d = 0,07 F = 8300\text{N}$$

1.3 Déterminez la référence des ressorts nécessaires pour réaliser ce dévêtissage. (voir documentation pages 14 et 15)

Les caractéristiques définies lors de la conception de l'outil de découpage sont les suivantes :

Données :

- nombre de ressorts : 8
- compression (charge et course recommandées) : A
- longueur maxi des ressorts précontraints : 35 mm

On demande :

- la charge d'un ressort = $\frac{\text{Effort de dévêtissage}}{\text{Nb de ressorts}} = \frac{8300}{8} = 1037\text{N}$
- la référence des ressorts $354 - 20 \times 25$ ou $354 - 20 \times 32$
 $F_d = 1080\text{N}$ $F_d = 1075\text{N}$
- la dimension des ressorts précontraints
 $25 - 20\% = 20\text{mm}$
 $- 20\% = 25,6\text{mm}$

1.4 Déterminez le jeu entre poinçon et matrice

En utilisant le tableau de la documentation page 16, précisez avec quel jeu (cas 1, 2, 3, 4 ou 5) il faut réaliser l'outil de découpage de l'ébauche de platine afin de satisfaire les caractéristiques de bords de pièce suivantes :

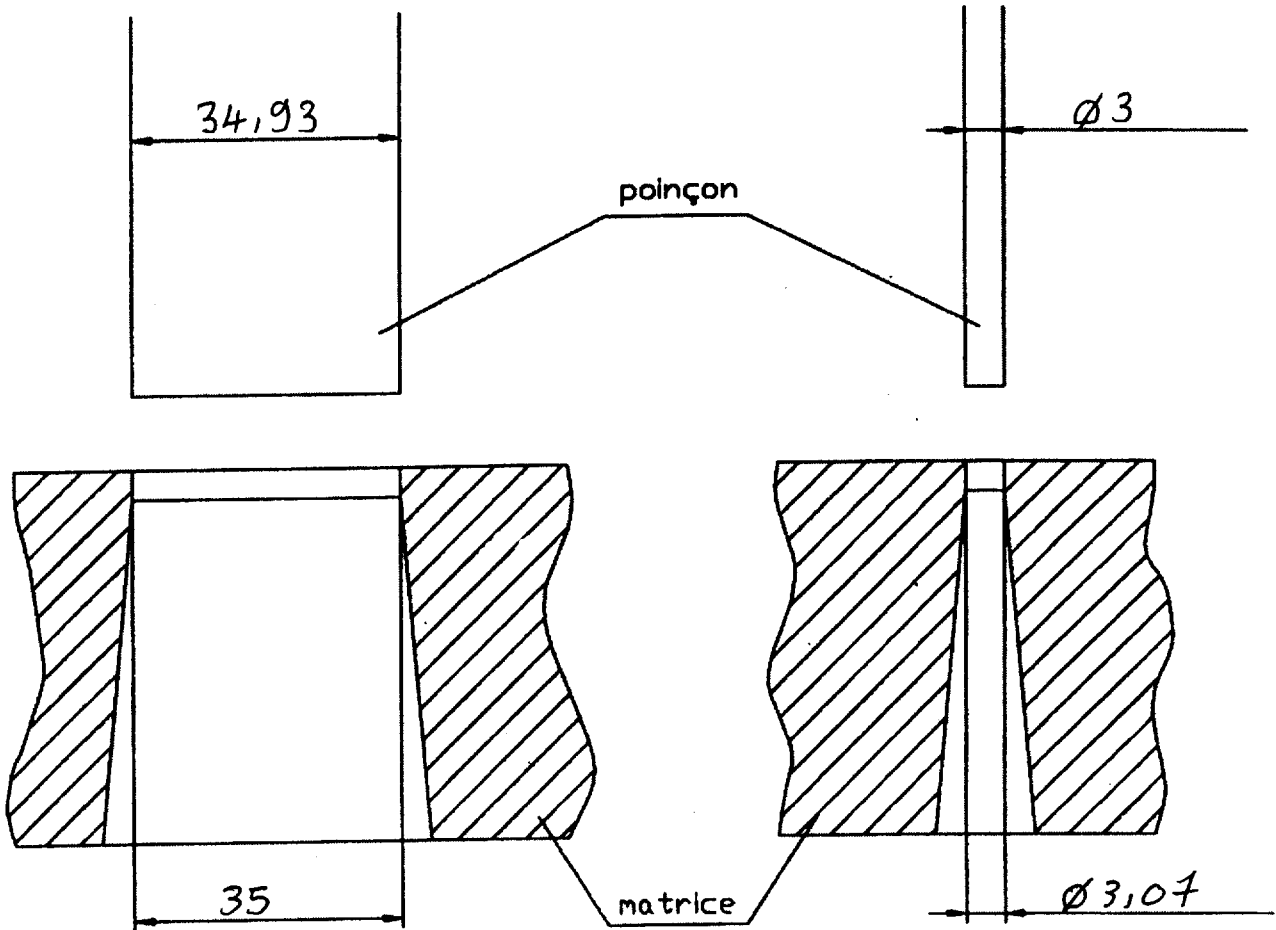
- Données :
- | | |
|--------------------|--------------------------|
| Matière : | Laiton demi dur |
| Partie découpée : | 40 à 60 % de l'épaisseur |
| Bavures : | normale à moyenne |
| Rayon de découpe : | 5 % maxi de l'épaisseur |

- Précisez dans quel cas se situe le problème (voir documentation page 16).

cas n° 4

- Déterminez les valeurs du jeu maxi et mini . 3 à 5 %
- Déterminez la valeur exacte du jeu moyen en mm.
4% de l'épaisseur soit 0,04 mm

1.5 Indiquez sur le schéma ci-dessous les cotes des poinçons et matrices.



Découpage extérieur
35 mm

Poinçonnage intérieur
 $\varnothing 3$ mm

Document réponse à compléter et à glisser dans la copie de l'épreuve

Afin de réaliser l'usinage d'ébauche et de finition, déterminez les conditions d'usinage suivantes.

2.1 Valeurs du courant nécessaire :

- ébauche **30 A**
- finition **6 A**

2.2 Valeur du « Gap » à prévoir :

- ébauche **0,45 mm**
- finition **0,12 mm**

2.3 Dimensions des électrodes (22 x 5), en :

- ébauche $22 - 0,4 - 0,45 = 21,15 \text{ mm}$ $5 - 0,4 - 0,45 = 4,15 \text{ mm}$
- finition $22 - 0,12 = 21,88 \text{ mm}$ $5 - 0,12 = 4,88 \text{ mm}$

2.4 Volume de matière enlevée, en :

- ébauche $21,6 \times 4,6 \times 10 = 993,6 \text{ mm}^3$
- finition $22 \times 5 \times 10 - 993,6 = 106,4 \text{ mm}^3$

2.5 Temps d'usinage pour réaliser l'usinage de la matrice.

Enlèvement **Ebauche** = $200 \text{ mm}^3/\text{min}$ **Finition** = $7 \text{ mm}^3/\text{min}$
 Temps **Ebauche** : $993,6 \div 200 = 4,968 \text{ min}$
Finition : $106,4 \div 7 = 15,2 \text{ min}$

3. Conditions de coupe

Total 20,168 min

Lors de l'usinage de la platine sur machine transfert, il est constaté une différence de temps d'usinage sur chaque poste, la production dépendant du temps d'usinage du poste le plus lent (qui est le poste n°3 avec un temps de 2.18 secondes).

N° poste	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Temps (s)	0.2	0.75	2.18	1.75	1.68	0.8	1.05	1.2	0.8	1.35	1.1	0.9	1.15	1.4

On cherche donc à améliorer les conditions d'usinage du poste n°3. Il est envisagé un changement d'outil à ce poste où est réalisée une rainure oblongue de longueur 6mm avec une **fraise de finition** de diamètre **3 mm** (voir le schéma de l'ébauche de la platine page 3).

3.1 A l'aide de la documentation page 18, complétez le tableau du document réponse page 11.

3.2 En tenant compte du coût d'usinage et d'outillage, déterminez le seuil de rentabilité entre la solution 1 et 2 (soit par le calcul, soit graphiquement) et conclure sur l'intérêt du choix d'outil.

- Solution 1 : outil en acier rapide non revêtu
- Solution 2 : outil en carbure revêtu

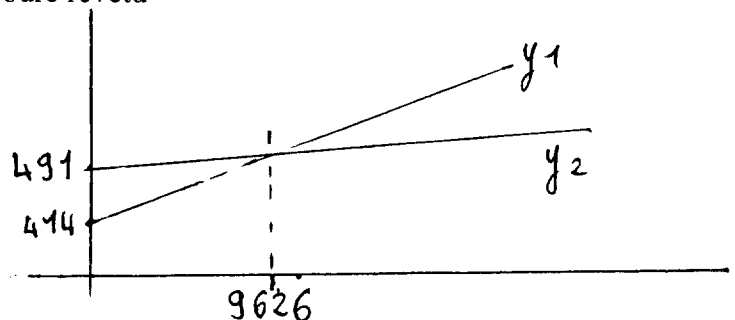
$$y_1 = 0,031x + 414$$

$$y_2 = 0,023x + 491$$

$$y_1 = y_2 = 0,031x + 414 = 0,023x + 491$$

$$x(0,031 - 0,023) = 491 - 414$$

$$x = \frac{77}{0,008} = 9625 \text{ pièces}$$



CORRIGÉ
4/12

Conditions de coupe à compléter		Solution n°1	Solution n°2
	Unité	Acier rapide	Carbure
		non revêtu	revêtu
Vitesse de coupe	m/min	70 - 100	130 - 200
Vitesse de coupe moyenne	m/min	85	165
Nombre de dents		3	4
Fréquence de rotation	tours/min	9018	17507
Avance par dent (fz)	mm	0,008	0,021
Vitesse d'avance (Vf)	mm/min	230 (216)	1470
Course d'usinage (ap)	mm	6	6
Temps d'usinage	seconde	1,56 Δ	0,24 Δ
Nb de pièces réalisées / fraise		4200	16000
Coût d'une fraise	Euro	5,8	26,2
Nb de pièces usinées / série		300 000	300 000
Coût total des fraises	Euro	17,42 fraises 414,28 €	18,75 fraises 491,25 €
Temps d'usinage de la série	heure	287	211
Coût d'usinage horaire	Euro	33	33
Coût d'usinage seul (sans les fraises)	Euro	287 × 33 = 9471	211 × 33 = 6963
Coût d'usinage d'une pièce	Euro	0,031 €	0,023 €

Document réponse à compléter et à glisser dans la copie de l'épreuve

4 Traitement thermique – essai de dureté

CORRIGÉ
5/12

Lors de la réalisation de l'outil de découpage des ébauches de platine, les éléments constituant la matrice sont réalisés dans une nuance d'acier à choisir dans la liste ci-dessous. Il est envisagé un traitement thermique des éléments de matrice (trempe + revenu) afin d'obtenir les caractéristiques définies ci-après (voir documentations page 19 et 20) :

Données :

- Matrice :
 - dureté mini : 62 HRC
 - résistance au choc mini : 45 Joules / cm²
- Platine à découper :
 - matière à découper : laiton Cu Zn 33 Pb2
 - épaisseur : 1.75 mm
 - résistance au cisaillement : 280 MPa

Liste des aciers disponibles :

TSP4	X130 W Mo Cr V 06.05.04.04 (Z130 W D C V 06.05.04.04)
Thyrodur 2363	X100 Cr Mo V 5 (Z100 C D V 5)
Thyrapid 3343	X90 W Mo Cr V 06.05.04.02 (Z90 W D C V 06.05.04.02)
Thyrodur 2379	X155 Cr V Mo 12.01 (Z155 C D V 12.01)

4.1 En vous aidant de la documentation des pages 20 et 21, donnez la nuance d'acier **TSP4** permettant de satisfaire les caractéristiques souhaitées pour la réalisation des éléments de matrice. Justifiez rapidement votre réponse. **HRC → HS ou TSP4**

Re → X100 ou TSP4

4.2 Détermination de la dureté Vickers obtenue.

Après le traitement thermique des éléments de la matrice, un essai de dureté Vickers est réalisé afin de vérifier si la dureté demandée est atteinte (62HRC).

Le contrôle consiste à réaliser une empreinte avec un pénétrateur sous une charge P, avec mesure des 2 diagonales d1 et d2 obtenues.

Calculez la dureté Vickers en vous aidant des données et formules suivantes :

Données :

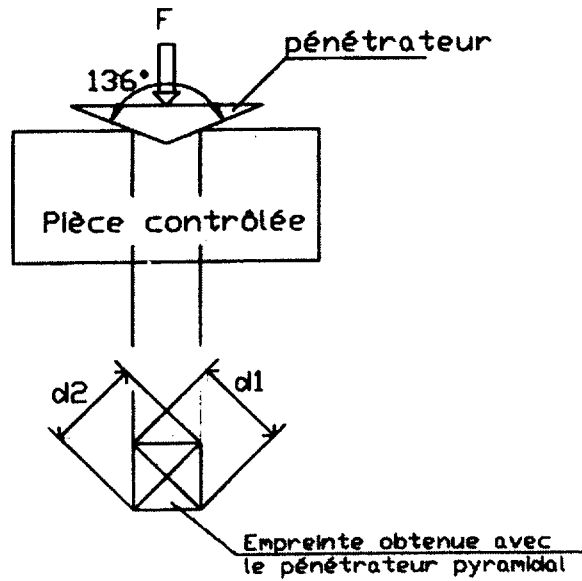
- charge P = 30 daN
- d1 = 0.269 mm et d2 = 0.265 mm

Relations :

$$D = \frac{d1 + d2}{2} = \frac{0,269 + 0,265}{2} = 0,267$$

$$HV = \frac{1.854 \times P}{D^2} = \frac{1,854 \times 30}{0,267^2} = 780,2$$

CORRIGÉ
6/12



4.3 En utilisant le tableau de conversion ci-dessous, donnez la dureté Rockell obtenue et conclure sur le traitement retenu.

Tableau de conversion des duretés.

Dureté Rockell (HRC)	55.9	56.4	56.9	57.4	57.9	58.4	58.9	59.3	60.2	61.1	61.9	62.8	63.5
Dureté Vickers (HV)	630	640	650	660	670	680	690	700	720	740	760	780	800

La matrice est correctement traitée

RESSORT CHARGE FORTE COULEUR ROUGE

ISO 10243

CORRIGÉ
7/12 Réf.357

RESSORT CHARGE FORTE COULEUR ROUGE
DRUCKFEDERN MIT RECHTECKIGEM DRAHTQUERSCHNITT, ROT
MUELLES DE COMPRESION COLOR ROJO CARGAS FUERTES

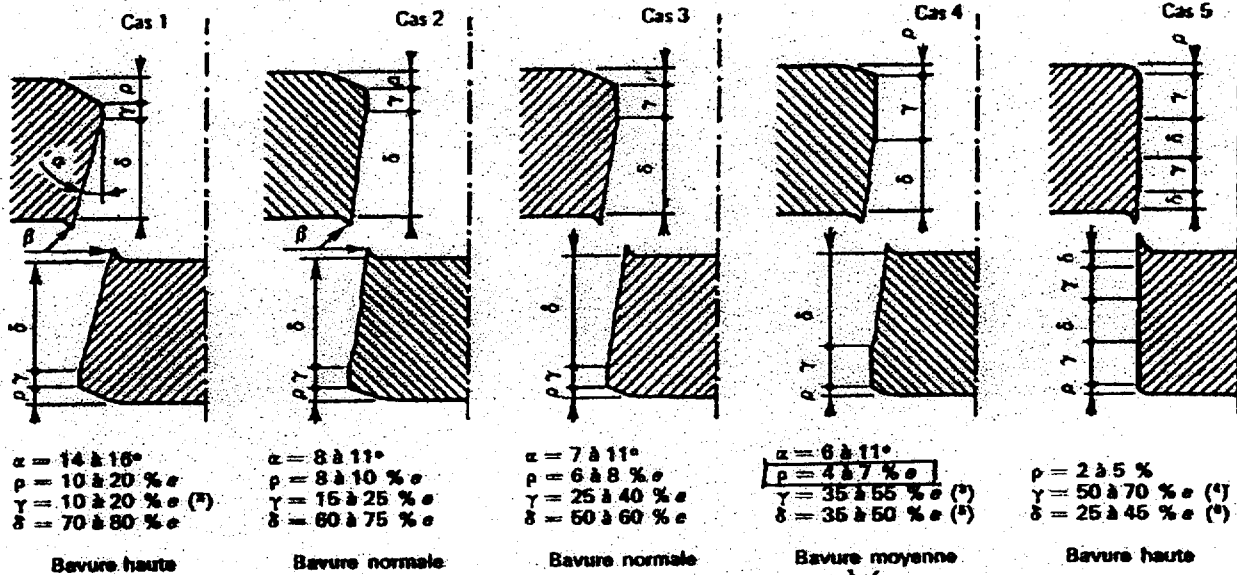
RECTANGULAR WIRE DIE SPRINGS RED COLOUR HEAVY LOAD
MOLLE PER STAMPI IN FILO A SEZIONE RETTANGOLARE (ROSSO)
MOLAS CARGAS FORTES (VERMELHA)

Tarif prix unitaire en EUR HT

E	L	K	A		B		N	N	N	N	N	N
			mm	mm	mm	mm						
mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
10 (3/8")	5 (3/16")	Section du fil 1,8 x 1,4	25	1"	22,1	111	5	166	7,5	199	9	1.07
			32	1" 1/4	17,5	112	6,4	168	9,6	210	12	1.14
			38	1" 1/2	17,1	130	7,6	195	11,4	257	15	1.22
			44	1" 3/4	15	132	8,8	198	13,2	255	17	1.30
			51	2"	12,8	131	10,2	196	15,3	269	21	1.37
			64	2" 1/2	10,7	137	12,8	205	19,2	278	26	1.52
			76	3"	7,5	114	15,2	171	22,8	233	31	1.91
			305	12"	2,1	128	61	192	91,5	256	122	7.47
(1/2")	(9/32")	2,4 x 1,9	25	1"	42,1	211	5	316	7,5	379	9	1.30
			32	1" 1/4	33,2	212	6,4	319	9,6	432	13	1.37
			38	1" 1/2	29,3	223	7,6	334	11,4	440	15	1.45
			44	1" 3/4	24,6	216	8,8	325	13,2	443	18	1.52
			51	2"	19,6	200	10,2	300	15,3	392	20	1.60
			64	2" 1/2	15	192	12,8	288	19,2	390	26	1.91
			76	3"	13,2	201	15,2	301	22,8	396	30	2.13
			89	3" 1/2	11,4	203	17,8	304	26,7	399	35	2.43
16 (5/8")	(11/32")	3 x 2,3	25	1"	75,7	379	5	568	7,5	681	9	1.45
			32	1" 1/4	52,8	338	6,4	507	9,6	739	14	1.52
			38	1" 1/2	48,5	369	7,6	553	11,4	825	17	1.60
			44	1" 3/4	42,8	377	8,8	565	13,2	856	20	1.68
			51	2"	37,1	378	10,2	568	15,3	779	21	1.83
			64	2" 1/2	30,3	388	12,8	582	19,2	848	28	2.13
			76	3"	25,7	391	15,2	586	22,8	848	33	2.29
			89	3" 1/2	21,7	386	17,8	579	26,7	846	39	2.59
20 (3/4")	(3/8")	4 x 3,2	102	4"	19,3	394	20,4	591	30,6	849	44	2.90
			305	12"	7,1	433	61	650	91,5	902	127	9.76
			25	1"	216	1080	5	1620	7,5	1944	9	1.75
			32	1" 1/4	168	1075	6,4	1613	9,6	1848	11	1.98
			38	1" 1/2	129	980	7,6	1471	11,4	1677	13	2.13
			44	1" 3/4	112	986	8,8	1478	13,2	1792	16	2.29
			51	2"	94	959	10,2	1438	15,3	1880	20	2.44
			64	2" 1/2	72,1	923	12,8	1384	19,2	1803	25	2.74
			76	3"	59,7	907	15,2	1361	22,8	1731	29	3.05
			89	3" 1/2	50,5	899	17,8	1348	26,7	1768	35	3.51
			102	4"	44,2	902	20,4	1353	30,6	1768	40	3.66
			115	4" 1/2	38,4	883	23	1325	34,5	1805	47	4.12
127	5"	34,1	866	25,4	1299	38,1	1773	52	4.57			
139	5" 1/2	31	862	27,8	1293	41,7	1767	57	5.33			
152	6"	28,2	857	30,4	1286	45,6	1748	62	5.34			
305	12"	15	915	61	1373	91,5	1815	121	13.00			
25 (1")	12,5 (1/2")	Section du fil 5,6 x 4,1	25	1"	375	1875	5	2813	7,5	3375	9	2.13
			32	1" 1/4	297	1901	6,4	2851	9,6	3267	11	2.29
			38	1" 1/2	219	1664	7,6	2497	11,4	3066	14	2.44
			44	1" 3/4	187	1646	8,8	2468	13,2	2992	16	2.74
			51	2"	156	1591	10,2	2387	15,3	2694	19	2.90
			64	2" 1/2	123	1574	12,8	2362	19,2	3198	26	3.51
			76	3"	99	1505	15,2	2257	22,8	2871	29	3.81
			89	3" 1/2	84	1495	17,8	2243	26,7	2940	35	4.27
			102	4"	73	1489	20,4	2234	30,6	2847	39	4.73
			115	4" 1/2	65	1495	23	2243	34,5	2925	45	5.34
			127	5"	57,7	1466	25,4	2198	38,1	2770	48	5.95
			139	5" 1/2	52,7	1465	27,8	2198	41,7	2846	54	6.09
			152	6"	47,8	1453	30,4	2180	45,6	2868	60	6.86
			178	7"	41	1460	35,6	2189	53,4	2747	67	7.77
203	8"	35,8	1453	40,6	2180	60,9	2864	80	9.15			
305	12"	22,9	1397	61	2095	91,5	2725	119	16.20			

Découpage poinçonnage

Effet du jeu de coupe sur les caractéristiques du bord de pièce



Notations :
 α = angle de fracture.
 ρ = rayon de découpe ⁽¹⁾.
 γ = partie lisse ⁽¹⁾.
 δ = partie arrachée.
 β = bavure.

- ⁽¹⁾ $\rho + \gamma$ = (approximativement) pénétration poinçon avant fracture.
- ⁽²⁾ γ peut être petit et irrégulier ou même absent.
- ⁽³⁾ Avec traces secondaires de cisaillement.
- ⁽⁴⁾ Deux parties lisses séparées par une zone de fracture.
- ⁽⁵⁾ Avec surface rugueuse.
- ⁽⁶⁾ Deux parties arrachées séparées par une partie lisse.

Jeu entre poinçon et matrice pour différents métaux dans les cinq cas définis ci-dessus

Métal travaillé	Jeu radial en % de l'épaisseur				
	Cas 1	Cas 2	Cas 3	Cas 4	Cas 5
Acier bas carbone	21 max	11,5 à 12,5	8 à 10	6 à 7	1 à 2
Acier carburé	25 max	17 à 19	14 à 16	11 à 13	2,5 à 5
Acier inoxydable	23 max	12,5 à 13,5	9 à 11	3 à 5	1 à 2
Alliage aluminium :					
— $R_t < 23 \text{ daN/mm}^2$	17 max	8 à 10	6 à 8	2 à 4	0,5 à 1
— $R_t > 23 \text{ daN/mm}^2$	20 max	12,5 à 14	9 à 10	5 à 6	0,5 à 1
Laiton recuit	21 max	8 à 10	6 à 8	2 à 3	0,5 à 1
Laiton demi-dur	24 max	9 à 11	6 à 8	3 à 5	0,5 à 1,5
Bronze phosphoreux	25 max	12,5 à 13,5	10 à 12	3,5 à 6	1,5 à 2,5
Cuivre recuit	25 max	8 à 10	5 à 7	2 à 4	0,5 à 1
Cuivre demi-dur	25 max	9 à 11	6 à 8	3 à 5	1 à 2
Piomb	22 max	8 à 10	6,5 à 7,5	4 à 6	1,5 à 2,5
Alliage magnésium	16 max	5 à 7	3,5 à 4,5	1,5 à 2,5	0,5 à 1

Conditions d'usinage pour électro-érosion par enfonçage

CORRIGÉ
9/12

✕

Finition	usure moins de 1 %	Tension (V)	courant (A)	temps on	temps off	gap (mm)	Etat de surface finie	enlèvement
		100	30	800	100	0,6	15	160
100	24	600	80	0,48	14	120		
100	18	500	70	0,36	12	80		
100	12	400	50	0,24	10	50		
100	9	300	40	0,18	8	20		
100 - 150	6	200	30	0,12	5	7		
100 - 150	5	160	25	0,1		5		
100 - 150	4	130	20	0,08		3		
150 - 270	3	100	20	0,06				
150 - 270	2	80	15	0,04				
150 - 270	1	70	15	0,02				

✕

Demi finition	usure moins de 3%	Tension (V)	courant (A)	temps on	temps off	gap (mm)	Etat de surface finie	enlèvement
		100	30	300	50	0,5	12	160
100	24	200	30	0,4	11	140		
100	18	150	20	0,3	10	100		
100	12	100	20	0,2	8	60		
100	9	75	20	0,15	6	35		
100 - 150	6	50	12	0,12	4	18		
100 - 150	5	40	12	0,1		8		
100 - 150	4	30	12	0,08		4		
150 - 270	3	25	12	0,06				

✕

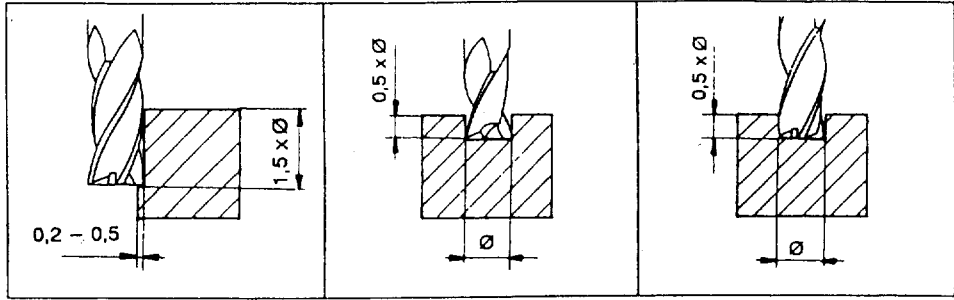
Ebauche	usure moins de 10%	Tension (V)	courant (A)	temps on	temps off	gap (mm)	Etat de surface finie	enlèvement
		100	30	100	20	0,45	10	200
100	24	80	15	0,4	9	150		
100	18	65	15	0,28	8	100		
100	12	50	15	0,18	6	70		
100	9	40	12	0,15	5	40		
100 - 150	6	24	12	0,1	3	21		
100 - 150	5	20	10	0,08		15		
100 - 150	4	15	10	0,06		10		
150 - 270	3	12	10	0,05				

✕

Electrode en cuivre - polarité positive - GAP en mm au diamètre - état de surface en microns - enlèvement en mm³/mn

CORRIGÉ
10/12

FRAISES DE FINITION & FRAISES À RAINURER



ACIER RAPIDE

Ø	Z	FRAISE DE FINITION			FRAISE 2 DENTS			FRAISE 3 DENTS		
		fz	Vf	Vf TiCN	fz	Vf	Vf TiCN	fz	Vf	Vf TiCN
2	3	0,004	170	220	0,006	170	220	0,006	260	330
3	3	0,008	230	290	0,011	190	250	0,010	260	330
4	3	0,013	260	330	0,017	230	290	0,016	320	410
5	3	0,017	270	350	0,023	250	320	0,021	340	440
6	3	0,032	430	550	0,031	280	370	0,032	430	550
8	4	0,042	570	740	0,041	280	370	0,042	430	550
10	4	0,058	630	810	0,052	280	370	0,053	430	550
12	4	0,079	710	920	0,069	310	400	0,068	460	600
16	4	0,146	990	1290	0,089	300	390	0,089	450	590
20	4	0,189	1020	1320	0,104	280	370	0,106	430	550
25	5	0,231	1250	1620	0,106	230	290	0,111	360	460
32	5	0,252	1070	1370	0,112	190	240	0,114	290	380
40	6	0,262	1070	1390	0,118	160	200	-	-	-
50	6	0,262	850	1100	-	-	-	-	-	-

CARBURE

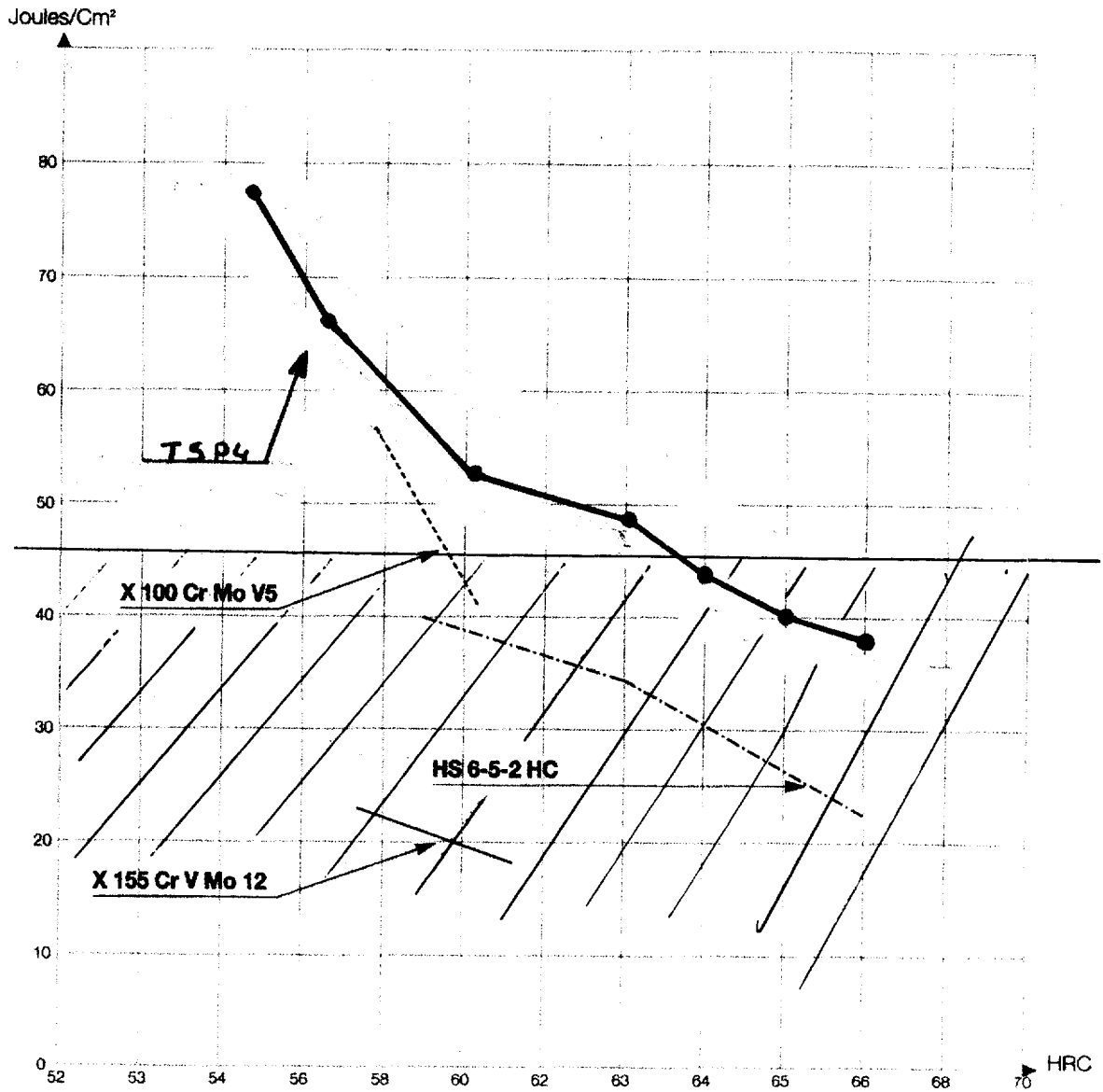
Ø	Z	FRAISE DE FINITION			FRAISE 2 DENTS			FRAISE 3 DENTS		
		fz	Vf	Vf revêt	fz	Vf	Vf revêt	fz	Vf	Vf revêt
2	4	0,009	780	990	0,007	300	390	0,005	330	410
3	4	0,021	1160	1470	0,014	380	480	0,012	480	610
4	4	0,031	1300	1650	0,021	430	550	0,021	650	830
6	4	0,047	1300	1650	0,026	360	460	0,026	540	690
8	4	0,063	1300	1660	0,037	380	480	0,037	570	720
10	4	0,074	1220	1540	0,042	350	440	0,042	520	660
12	4	0,105	1450	1840	0,052	360	460	0,052	540	690
16	4	0,126	1310	1650	0,068	350	450	0,068	530	670
20	4	0,157	1300	1660	0,085	350	440	0,084	520	660

$$N = \frac{V_c \times 1000}{\phi \times 3.14}$$

$$V_f \text{ (mm/min)} = f_z \times N \times Z$$

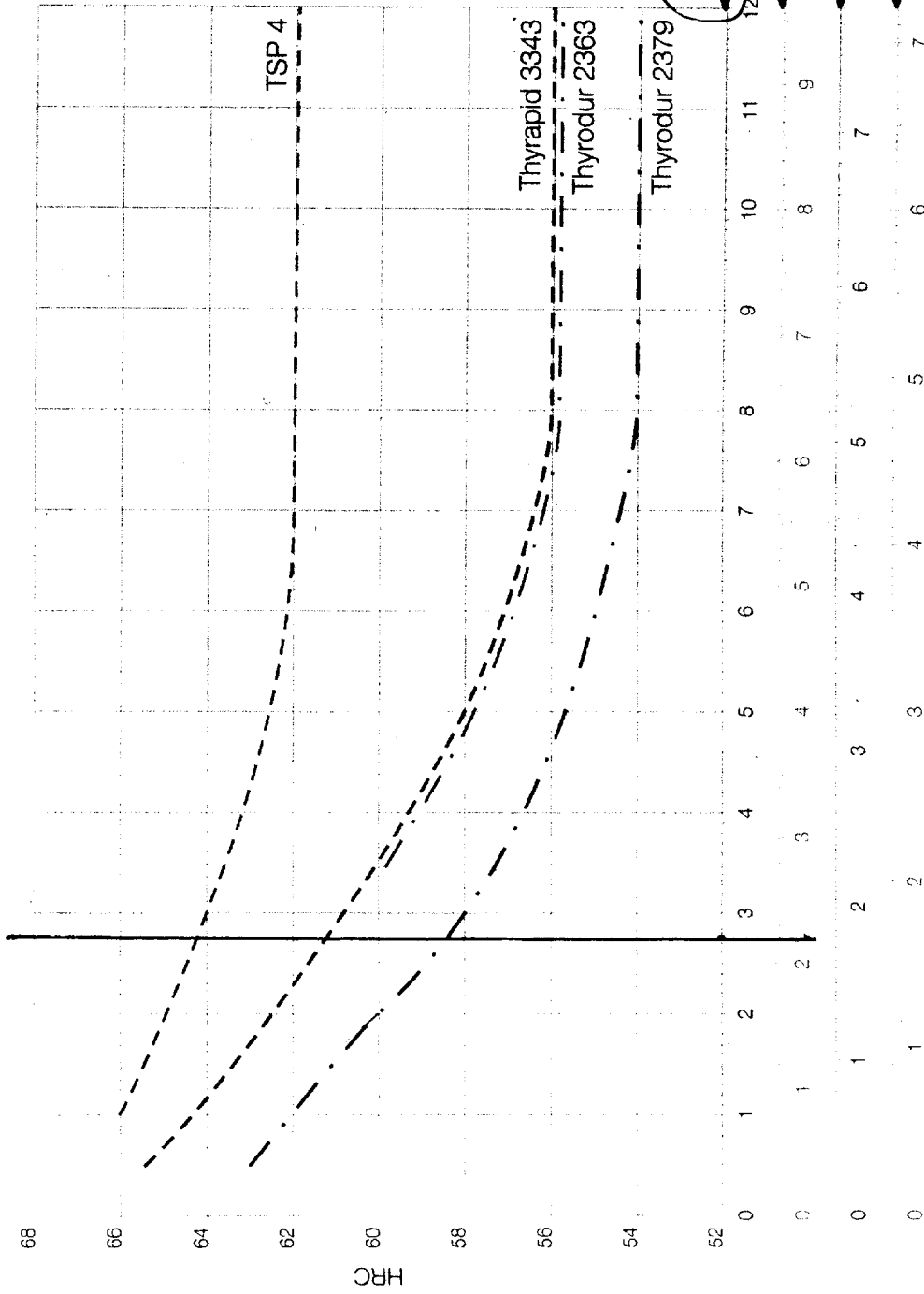
CORRIGÉ
11/12

Évolution, en partant de l'essai CHAMPY C NOTCH, de l'énergie de rupture
en fonction de la dureté obtenue après trempe et revenu à 560 °C



-----	X 100 Cr Mo V5 Z 100 CDV 5	= THYRODUR 2363
—————	X 155 Cr V Mo 12 Z 155 CVD 12	= THYRODUR 2379
-----	HS 6-5-2 HC Z 90 WDCV 06.05.04.02 M2 Conventionnel	= THYRAPID 3343
—————	X 130 W Mo Cr V 06.05.04.04 Z 130 WDCV 06.05.04.04	= T.S.P. 4

* Résistance au cisaillement des matériaux à découper (valeurs moyennes en Mpa)



Épaisseur du matériau à découper (mm)

- Choix de l'acier à outil et de sa dureté en fonction de l'épaisseur du matériau à découper