

Sur l'écrouissage, le revenu et le recuit des laitons

par MM. W. BRONIEWSKI et T. PELCZYNSKI

○ ○ ○

DEUXIEME PARTIE (*f_m*) (1)

Effet du temps de recuit. — Les échantillons de laiton écroui de 10 mm. de longueur et de 5 mm. de diamètre étaient placés dans un four à résistance électrique réglé pour une température déterminée.

A des temps variant de 5 à 300 minutes ces échantillons étaient successivement enlevés du four et rapidement refroidis. Ils subissaient ensuite l'inclusion, le polissage et trois empreintes de dureté microscopiques.

Pour les laitons à 33 p. 100 de zinc, les résultats obtenus sont indiqués sur le tableau II et sur les figures 9 et 10.

Nous voyons sur ces diagrammes (fig. 9 et 10) qu'un revenu à 200° fait passer la dureté des laitons écrouis à la deuxième et troisième phase (Z=40 et 95 %) par un maximum plat au bout de 1 heure environ.

Pour un revenu de 300° et 350° le maximum de dureté de ces laitons est atteint d'autant plus rapidement que l'écrouissage des échantillons était plus élevé et se trouve suivi par une chute de dureté. Par contre, le laiton n'ayant subi que l'écrouissage de la première phase (Z=20 %) paraît subir le revenu sans passer par un maximum.

Pour les recuits de 400°, 500° et 700° le maximum de dureté ne se fait plus remarquer, étant confondu avec l'axe des ordonnées. Une chute rapide de la dureté est alors suivie par une allure asymptotique des courbes.

Il est à remarquer que ces courbes de revenu et de recuit ne restent pas superposées dans un certain ordre. Ainsi, au bout d'un recuit de 300 minutes, le laiton écroui à 20 p. 100 apparaît le plus mou des trois échantillons à 200° et le plus dur à 300°, n'étant pas encore atteint par le revenu à cette température. Il redevint le plus mou à 350° et à 400°, pour prendre une position moyenne à 500°.

(1) Voir Revue de Métallurgie, t. XXXI, n° 1, p. 48, janvier 1934.

A 700° toutes les courbes de recuit apparaissent confondues au bout d'un quart d'heure; le recuit est alors complet.

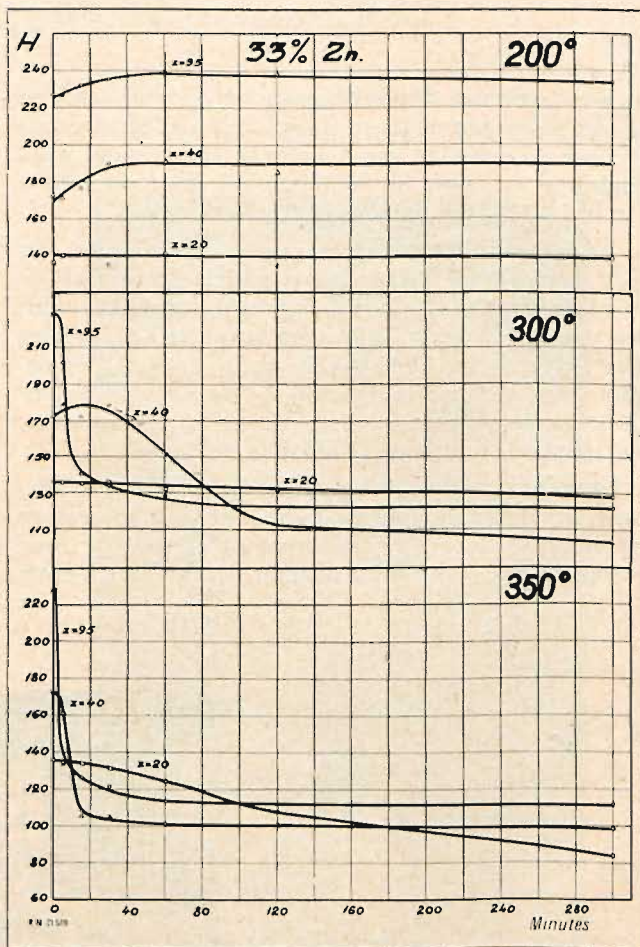


Fig. 9. — Dureté H du laiton à 33 p. 100 de zinc écroui à Z p. 100 et revenu à 200, 300 et 350° pendant *m* minutes.

De ce fait, un objet en laiton à cartouches embouti à froid de façon à donner un écrouissage hétérogène (comme c'est, par exemple, le cas des

douilles) peut par un échauffement approprié devenir le plus dur en ses endroits le moins écrouis.

Pour un laiton à 40 p. 100 de zinc les effets du revenu et du recuit, en fonction du temps, sont indiqués dans le tableau IV et sur les figures 11 et 12.

Les courbes de revenu du laiton à 40 p. 100 de zinc (fig. 11) montrent moins nettement que celles du laiton à cartouches (fig. 9) les maxima de dureté pour l'écrouissage de deuxième et de troisième

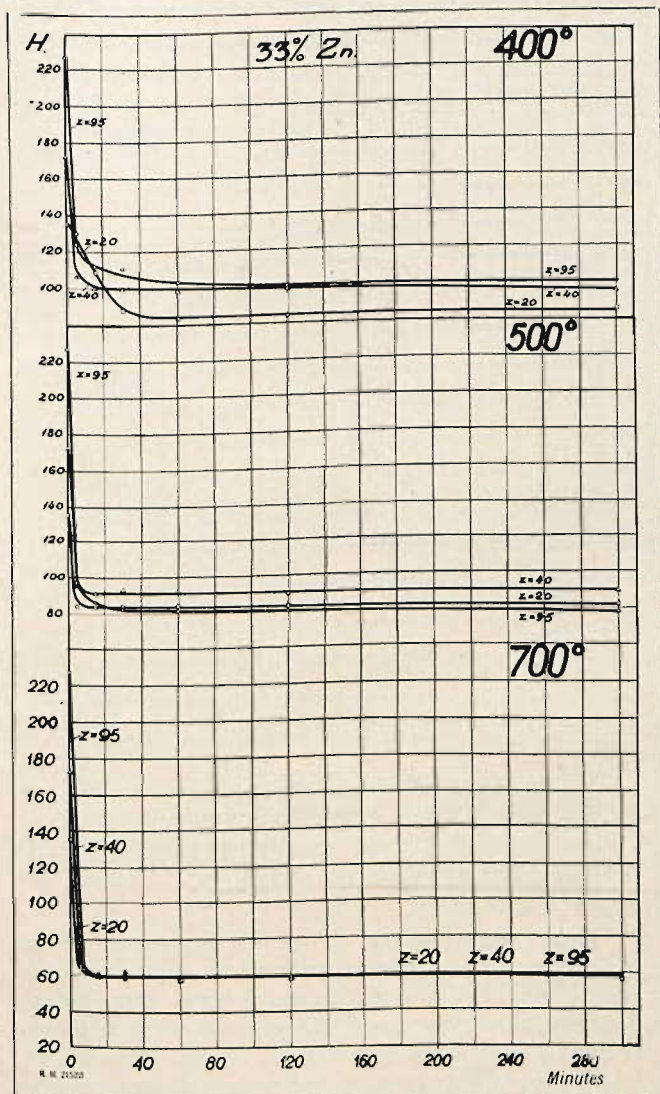


Fig. 10. — Dureté H du laiton à 33 p. 100 de zinc écroui à Z p. 100 et recuit à 400, 500 et 700° pendant m minutes.

phase et paraissent manifester comme celles-ci un fléchissement immédiat pour l'écrouissage de la première phase. Aussi l'effet de l'échauffement est

Tableau III. — Dureté H du laiton à 33 o/o de zinc écroui à Z o/o et recuit pendant θ minutes à la température t.

t°	Z %	θ min.					
		5	15	30	60	120	300
200	20	140	140	135	141	134	139
	40	171	177	190	191	185	190
	95	226	232	235	239	238	234
300	20	135	135	136	132	132	128
	40	179	173	179	153	113	103
	95	201	140	133	128	122	121
350	20	133	134	131	124	108	84
	40	161	105	105	100	100	99
	95	133	126	121	113	112	111
400	20	130	109	88	83	84	86
	40	107	101	100	99	99	96
	95	124	111	111	103	101	101
500	20	84	83	84	84	82	82
	40	94	91	93	93	90	90
	95	97	86	82	82	80	78
700	20	66	61	59	57	57	56
	40	65	59	63	57	57	57
	95	64	61	60	57	58	59
		H dureté					

moins accentué pour ce laiton, de sorte que son revenu est, par exemple, à peine sensible pour un échauffement à 300° après écrouissage à 40 p. 100, alors que le laiton à cartouches montre dans les mêmes conditions un revenu prononcé.

A partir de 400° les courbes de recuit du laiton à 40 p. 100 (fig. 12) ont une allure plus lente, mais assez semblable à celle du laiton à cartouches et apparaissent confondues à 700°.

L'effet de la température de recuit. — Comme dans l'étude précédente, concernant l'effet du temps de recuit, des échantillons de laiton éroui furent placés dans un four électrique réglé à une température déterminée. Le recuit était de 30 minutes, laps de temps souvent employé dans l'industrie pour les laitons. Après le recuit, les échantillons étaient rapidement refroidis.

Tableau IV. — Dureté H du laiton à 40 o/o de zinc éroui à Z o/o et recuit pendant θ minutes à la température t.

t°	Z %	6 min.					
		5	15	30	60	120	300
200	20	142	138	135	138	137	138
	40	172	173	177	176	175	174
	95	221	224	227	223	223	224
300	20	132	124	125	128	120	123
	40	164	167	160	159	156	146
	95	211	142	143	140	137	133
350	20	137	126	125	119	122	120
	40	153	129	114	110	100	101
	95	136	132	131	122	120	118
400	20	129	122	114	109	100	90
	40	136	102	102	100	97	97
	95	136	122	120	115	110	111
500	20	99	92	91	91	91	91
	40	100	99	98	99	95	95
	95	113	105	104	99	99	99
700	20	112	105	109	110	109	109
	40	115	107	110	113	111	108
	95	110	112	114	111	108	110
		H dureté					

Certaines de ces mesures se confondent avec les précédentes et peuvent servir à les contrôler, d'au-

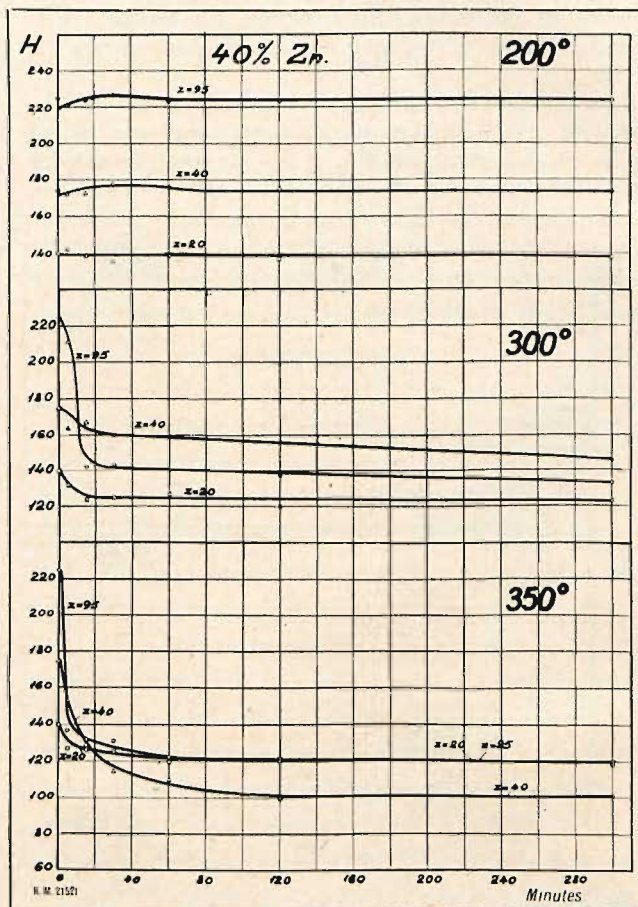


Fig. 11. — Dureté H du laiton à 40 p. 100 de zinc éroui à Z p. 100 et revenu à 200, 300 et 350° pendant m minutes.

tres s'appliquent à des écouissages nouveaux, de 10, 30, 60, 70 et 85 p. 100.

Les résultats obtenus pour le laiton à 30 p. 100 de zinc sont indiqués sur le tableau V et sur les figures 13 et 14.

Ces diagrammes (fig. 13 et 14) nous confirment que le recuit les laitons, manifesté par une chute rapide de leur dureté, a lieu à une température d'autant plus basse que l'érouissage est plus élevé, comme l'avait déjà entrevu M. Grard. Par ce fait, les laitons diffèrent essentiellement du fer dont la température de recuit s'élève avec l'érouissage (1).

Pour les laitons n'ayant subi que la première phase de l'érouissage (10, 20 et 30 %), la dureté se maintient au même niveau ou s'affaisse faible-

(1) Broniewski et Krol. C. R., CXCHII, 38 (1931).

ment au revenu, c'est-à-dire au-dessous de la température de recuit. Par contre, les laitons écoués à un degré supérieur montrent une augmentation de dureté au revenu.

La chute de la dureté, due au recuit, est suivie, pour tous les écouissages, par un palier auquel succède une chute plus rapide de la dureté. Il est probable que ce palier correspond à une augmentation des cristaux ultra-microscopiques, formés lors de la chute de dureté, mais ne devenant visibles au microscope qu'après échauffement à une température plus élevée d'une centaine de degrés.

Entre la température du commencement du recuit, manifestée par la chute de la dureté, et la température du recuit complet, où toutes les courbes se rencontrent, les propriétés du laiton se

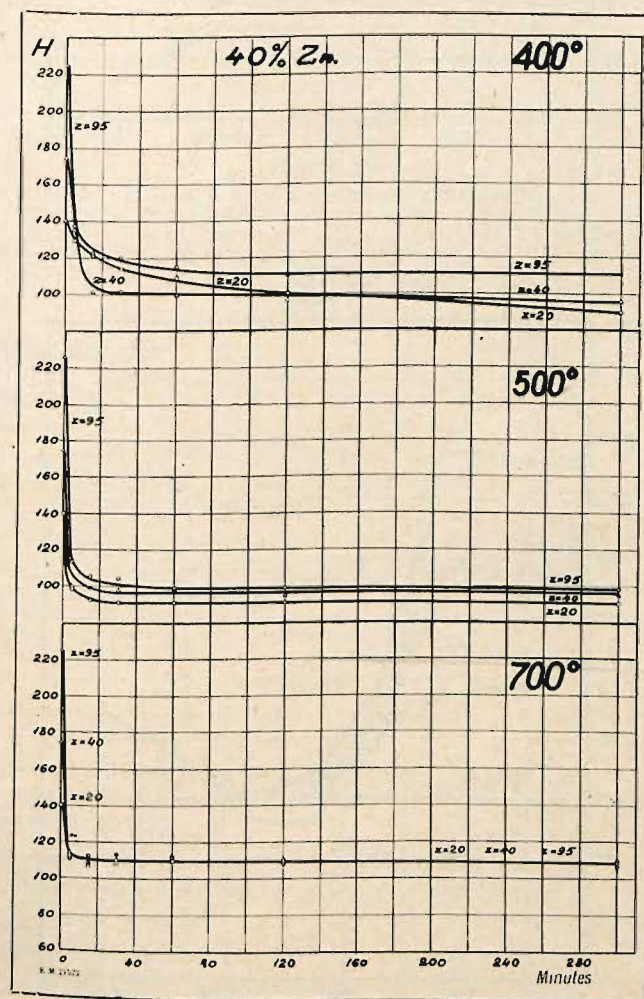


Fig. 12. — Dureté H du laiton à 40 p. 100 de zinc écoué à Z p. 100 et recuit à 400, 500 et 700° pendant *m* minutes.

Tableau V. — Dureté H du laiton à 33 % de zinc écoué à Z % et recuit pendant 30 minutes à la température t°

t°	Z %							
	10	20	30	40	60	70	85	95
0	108	135	145	171	199	205	210	225
100	111	135	144	176	203	210	214	229
150	110	134	145	185	203	215	219	234
200	110	134	146	190	206	218	220	235
250	108	135	143	187	204	217	215	167
275	106	134	144	186	193	176	138	139
300	108	134	142	167	115	111	110	132
325	109	131	140	112	106	107	109	128
350	104	125	127	106	103	106	109	117
375	102	96	95	98	102	102	112	115
400	101	89	85	100	101	102	108	111
450	93	86	84	100	98	101	103	100
500	80	85	82	93	89	95	95	84
550	76	85	90	82	90	91	93	81
600	73	84	79	81	85	84	79	71
700	64	60	60	64	60	60	60	60
800	51	48	48	50	51	51	53	50

H dureté

montrent dépendantes non seulement de la température de recuit, mais aussi de l'état de l'écouissage initial, ce qui apparaît contraire aux idées courantes. Ainsi, comme nous l'avons fait remarquer, un recuit à température appropriée peut rendre un laiton faiblement écoué plus dur qu'un laiton ayant subi un fort écouissage.

Pour le recuit complet du laiton à 33 p. 100 de zinc, nous trouvons 700°, température d'une centaine de degrés inférieure à celle qui est ordinairement admise.

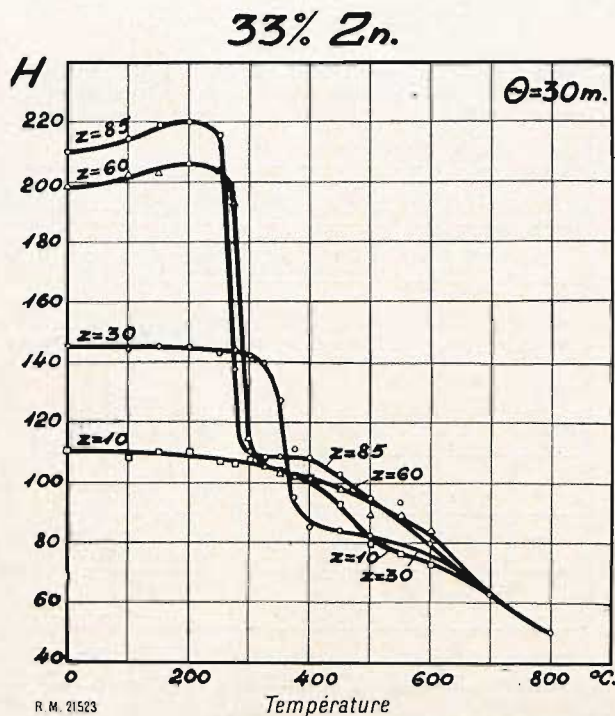


Fig. 13. — Dureté H d'un laiton à 33 p. 100 de zinc écoui à 10, 30, 60 et 85 p. 100 et recuit pendant 30 min. à la température C.

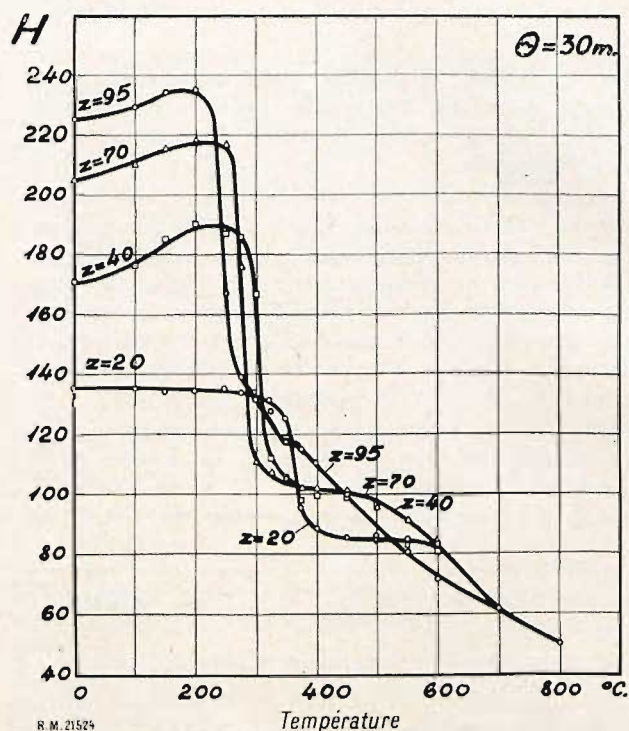


Fig. 14. — Dureté H d'un laiton à 33 p. 100 de zinc écoui à 20, 40, 70 et 95 p. 100 et recuit pendant 30 min. à la température C.

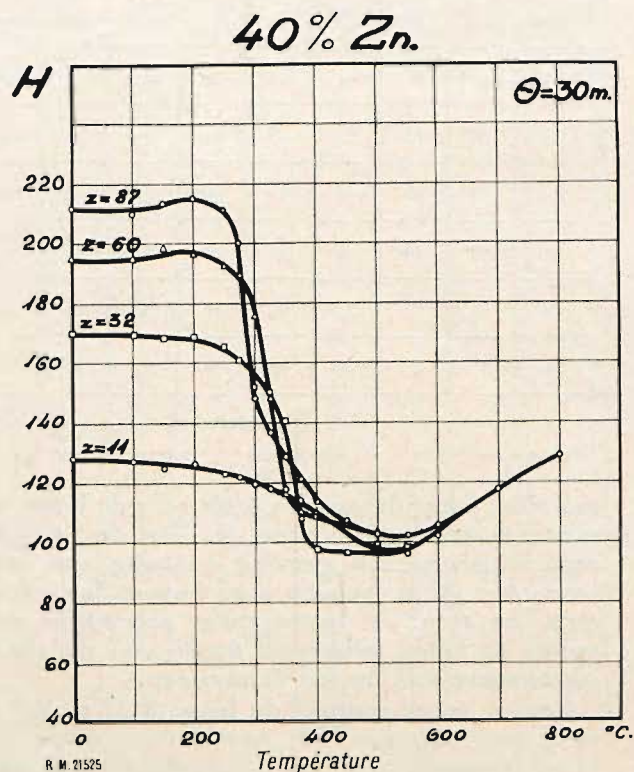


Fig. 15. — Dureté H d'un laiton à 40 p. 100 de zinc écoui à 10, 32, 60 et 87 p. 100 et recuit pendant 30 min. à la température C.

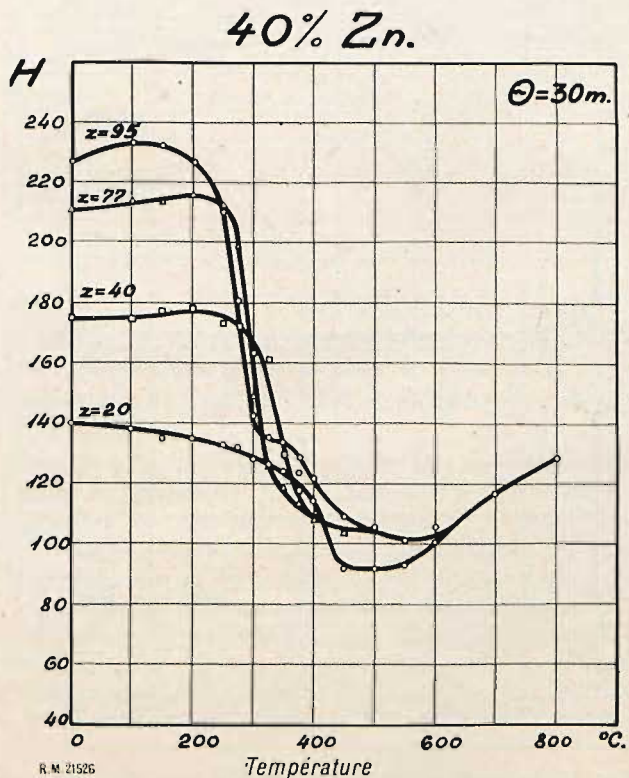


Fig. 16. — Dureté H d'un laiton à 40 p. 100 de zinc écoui à 20, 40, 77 et 95 p. 100 et recuit pendant 30 min. à la température C.

Tableau VI. — Dureté H du laiton à 40 % de zinc écroui à Z % et recuit pendant 30 minutes à la température t°

t°	Z %							
	10	20	30	40	60	70	85	95
0	129	140	170	175	195	210	212	227
100	127	138	170	175	195	214	210	232
150	124	135	169	177	199	214	213	232
200	126	134	169	179	196	216	215	227
250	123	133	165	173	192	212	211	210
275	122	132	161	172	190	199	200	181
300	119	128	151	169	176	148	148	143
325	118	126	150	162	149	126	137	135
350	118	124	141	130	117	118	129	134
375	114	124	109	118	110	113	122	129
400	109	113	98	107	108	108	114	122
450	106	92	96	103	105	104	107	109
500	97	93	100	102	104	105	103	106
550	96	93	98	98	100	97	102	101
600	102	100	106	105	105	104	106	106
700	116	115	118	116	118	118	117	117
800	129	127	127	128	126	128	126	128
	H dureté							

Pour le laiton à 40 p. 100 de zinc les résultats des mesures sont indiqués au tableau VI et sur les figures 15 et 16.

Ces diagrammes (fig. 15 et 16) montrent les mêmes traits caractéristiques que pour les laitons à cartouches.

Ainsi, la température de recuit apparaît d'autant plus basse que l'écrouissage est plus élevé. L'écrouissage de deuxième et de troisième phase donne une augmentation de dureté au revenu, ce

qui n'a pas lieu pour l'écrouissage de première phase. Enfin, le fléchissement de la courbe de dureté au recuit apparaît suivi par un palier.

Cependant, après ce palier la courbe de dureté remonte pour les laitons à 40 p. 100 de zinc, alors qu'elle continuait sa descente pour les laitons à cartouches. Ceci est dû à la solubilité croissante du constituant α dans le constituant β au-dessus de 500°, la solution solide, ainsi formée, se trouvant

Tableau VII. — Vraie dureté du laiton à 33 et à 40 o/o de de zinc. n, nombre de recuits subis après empreinte de dureté; H, dureté mesurée.

n	dureté		n	dureté		n	dureté	
	33 % de Zn	40 % de Zn		33 % de Zn	40 % de Zn		33 % de Zn	40 % de Zn
0	57,4	71,0	17	20,8	26,1	34	16,8	20,5
1	43,8	55,0	18	20,5	25,9	35	16,6	20,4
2	37,5	49,0	19	20,3	25,3	36	16,5	20,3
3	34,4	44,5	20	20,0	24,9	37	16,4	20,1
4	31,2	40,5	21	19,8	24,5	38	16,3	19,9
5	29,7	38,5	22	19,5	24,3	39	16,1	19,7
6	28,4	36,2	23	19,1	24,0	40	16,0	19,6
7	27,3	35,2	24	18,9	23,8	41	16,0	19,5
8	25,5	33,3	25	18,6	23,0	42	15,9	19,4
9	24,4	32,1	26	18,4	22,0	43	15,7	19,3
10	23,8	31,2	27	18,2	21,8	44	15,6	19,3
11	23,3	30,4	28	17,9	21,6	45	15,5	19,2
12	22,5	29,4	29	17,6	21,6	46	15,5	19,2
13	22,0	29,1	30	17,4	21,5	47	15,4	19,2
14	21,7	28,1	31	17,3	21,3	48	15,5	19,1
15	21,5	27,7	32	17,1	21,0	49	15,5	19,2
16	21,2	26,5	33	17,0	20,7	50	15,5	19,2

stabilisée par le refroidissement rapide des échantillons après recuit.

Le recuit complet paraît atteint pour les laitons à 40 p. 100 de zinc à une température voisine de 600°.

La vraie dureté. — La mesure de la dureté est entachée d'erreur due à ce que le métal s'écroute sous la bille, de sorte que la pression appliquée est supportée par un corps aux propriétés mécaniques différentes de celui qu'on avait voulu étudier.

Afin de déterminer la vraie dureté des laitons, nous avons appliqué la méthode connue des empreintes successives, indiquée par M. Hanriot. Un échantillon de laiton recuit à 550° était soumis à l'empreinte de dureté normale d'une bille de

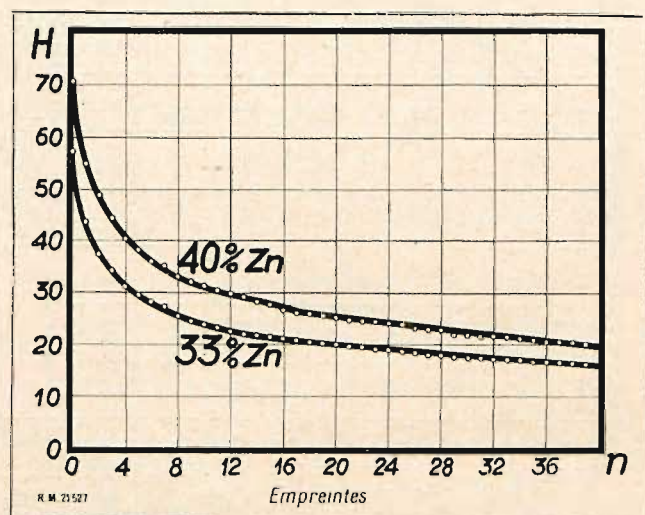


Fig. 17. — Dureté des laitons à 33 et à 40 p. 100 de zinc en fonction des empreintes successives n .

10 mm. sous une pression de 500 kg. L'échantillon subissait ensuite des recuits et des empreintes successives, à l'endroit du premier essai, jusqu'au moment où le chiffre de dureté se stabilisait. La pression de la bille était alors supportée par la réaction élastique du métal recuit dont la vraie dureté était ainsi établie.

Les résultats obtenus sont indiqués sur le tableau VII et sur la figure 17.

Le nombre d'empreintes et de recuits successifs avait été poussé jusqu'à 50, mais déjà à la quarante-cinquième empreinte la stabilisation pouvait être considérée comme atteinte pour les deux laitons.

La dureté du laiton à cartouches qui, au début

était de 57,4 se stabilise alors à 15,5 et celle du laiton à 40 p. 100 de zinc s'abaisse de 71 à 19,2.

Dans les deux cas, la chute de la dureté est sensiblement la même, voisine de 73 p. 100. Pour les laitons, la vraie dureté est donc strictement proportionnelle à leur dureté Brinell normalement établie, le rapport étant $k=3.7$. Ce rapport est plus fort pour les laitons que pour le cuivre (1) ($k=2,8$) et pour le fer (2) ($k=2,5$).

Résumé. — 1. Pour les laitons à 33 et à 40 p. 100 de zinc ont été mesurés les cinq paramètres de la traction, la dureté et la résilience en fonction de l'écroutissage.

2. Trois phases de l'écroutissage ont pu ainsi être établies. La fin de la première est caractérisée surtout par la disparition, presque complète, de l'allongement proportionnel et par des points d'inflexion sur la majeure partie des courbes, en particulier sur celle de la résilience.

Le commencement de la troisième phase d'écroutissage se fait surtout remarquer par le fléchissement de la striction et par des points d'inflexion sur les autres courbes.

Les limites des phases d'écroutissage se manifestent pour le laiton à cartouches à 30 et à 70 p. 100, pour le laiton à 40 p. 100 de zinc, à 35 et à 75 p. 100.

3. Le revenu et le recuit des laitons, en fonction du temps, nous a montré que la dureté des laitons, ayant subi l'écroutissage de la deuxième et de la troisième phase, passe par un maximum, qui ne se fait pas remarquer pour les laitons écrouis dans les limites de la première phase.

Le fléchissement de la dureté, due au recuit, a lieu à une température d'autant plus basse que l'écroutissage du laiton est plus élevé.

4. Le revenu et le recuit des laitons pendant un temps déterminé (30 min.) à différentes températures nous a montré que la chute de la dureté au recuit est suivie pour tous les écrouissages par un palier correspondant probablement à l'agglomération des cristaux ultra-microscopiques.

Jusqu'à la température de recuit complet, soit 700° pour le laiton à cartouches et 600° pour le laiton à 40 p. 100 de zinc, leurs propriétés mécaniques se montrent dépendantes non seulement de la température de recuit, mais aussi de l'écroutissage initial.

(1) Krupkowski. *Revue de Métall.*, XXIX, 24 (1932).

(2) Broniewski et Krol, *loc. cit.*