

In beiden Fällen entsteht für den hohlen Zapfen ein kleinerer Flächendruck als für den vollen. Das Höhlungsverhältniss 0,6 ist häufig; hohle Zapfen kommen bei gusseisernen, neuerdings auch bei gussstählernen hohlen Achsen und Wellen zur Anwendung.

Die Bronzelegirungen und ihre Surrogate, als Weissmetall, Hartblei u. s. w., eignen sich deshalb besonders zu Lagern, weil sie einen hohen Flächendruck vertragen, ohne dass der Reibungskoeffizient*) übermässig steigt. Bei gusseisernen Zapfenumhüllungen kann, wenn die Umlaufzahlen gering sind, so verfahren werden, als ob Bronze angewandt wäre. Dies gilt z. B. von den Zapfen an Aufzugmaschinen mit Handbetrieb. Für dauernden starken Betrieb dagegen eignen sich aber gusseiserne Zapfenhüllen nur, wenn der Flächendruck klein gewählt wird. Vergl. das folgende Kapitel. Holzschalen vertragen einen hohen Flächendruck, doppelt so viel und mehr, als Bronze, wenn sie im Wasser laufen oder benetzt gehalten werden. Bei Wellen, welche 60 bis 80 Umdrehungen in der Minute nicht überschreiten, hat man harte hölzerne Lagerschalen auch bei blosser Oelschmierung bewährt gefunden. An den Mühlspindeln hinwiederum sind in der Büchse Zapfenhüllen von Weidenholz, also ganz weichem Holz, sehr bewährt gefunden worden. Hier übersteigt die Umlaufzahl 100, der Flächendruck ist aber ungemein klein**).

§. 91.

Beispiele und Tabelle zu den Stirnzapfen.

In der folgenden Tafel sind Ergebnisse der Formeln unter (93) für die laufenden Zapfen, bei denen $n \leq 150$ ist, zusammengestellt.

1. *Beispiel.* Ein rückschlächtiges Wasserrad von 30 000 kg Gewicht fasst während des Ganges 6 cbm Wasser. Die symmetrisch angeordneten Zapfen der gusseisernen Achse des Rades erfahren demnach jeder eine (einseitige) Belastung von $15\ 000 + 3\ 000 = 18\ 000$ kg. Es ist ihnen demnach gemäss Spalte 4, Z. 30 eine Dicke von ~ 220 mm und eine Länge von 330 mm zu geben; Anpasshöhe 26 mm.

2. *Beispiel.* Ein schmiedeiserner Kurbelzapfen für dieselbe, aber wechselseitig wirkende Belastung hätte nach Sp. 6, Z. 21 bis 22 den Durchmesser $d = 135$ mm und eine ebensogrosse Länge zu erhalten. In Guss-

*) Vergl. §. 96.

**) Ueber andere, noch mehr aussergewöhnliche Lagerungsmaterialien siehe §. 97.

stahl ausgeführt, erhielt er nach Sp. 8, Z. 20 die Dicke $d \sim 120$ und die Länge $l = 1,3 \cdot 120 = 156$ mm.

3. *Beispiel.* Die Zapfen der hohlen gusseisernen Hauptbalancier-Achse der Wasserhaltungsmaschine auf Bleyberg in Belgien sind einseitig belastet mit je 140 550 kg*) und haben das Hohlungsverhältniss 0,5. Wir würden denselben nach (93) und (94) die Dicke

$$d_0 = 1,02 \cdot 1,6 \sqrt{140\,550} \sim 1,02 \cdot 600 = 612 \text{ mm}$$

und eine Länge $l_0 = 1,5 \cdot 600 = 900$ mm geben, wobei der Flächendruck p etwas unter 0,25 kg ausfiel. Man hat genommen $d_0 = 500$, $l_0 = 460$ mm (was einer Spannung von 2,9 kg an der Zapfenwurzel entspricht), aber die Schale nur 400 mm lang gemacht. Deshalb stellte sich der Flächendruck p auf $140\,550 : 500 \cdot 400 = 0,7$ kg, was entschieden zu hoch ist. Im Betrieb erfuhren auch die Zapfen stets Erwärmung, so dass Wasserkühlung angeordnet werden musste**).

In der Maschinenpraxis findet man wenig Gleichförmigkeit in der Behandlung der Zapfen. Manchmal findet man den Unterschied zwischen einseitiger und wechselseitiger Belastung entschieden beachtet, in anderen Fällen aber auch nicht. Bei Lokomotivkurbeln z. B. ist p sehr häufig > 1 , gelegentlich sogar > 2 , ja bei Querhäuptern dieser Maschinen mehr als 3. Daneben wird bei grossen Schiffsmaschinen am Kurbelzapfen p ziemlich niedrig gefunden***). Sorgfältige Oelung ist immer unerlässliches Erforderniss.

Für die Zapfen von grosser Umlaufzahl ergeben sich grössere Längenverhältnisse als die oben benutzten.

4. *Beispiel.* Die Eisenbahnachsen haben bei uns zwischen 200 und 300 Umdrehungen in der Minute; häufig ist $n = 270$. Hierfür ergibt sich aus der vorletzten Formelreihe in (94) für die schmiedeiserne Achse $l : d = 0,13 \sqrt{270} \sim 2,14$. Die Längenverhältnisse 1,8 und 2 sind häufig. Bei Ventilatoren kommen Umlaufzahlen bis zu 1200 und mehr vor. Für $n = 1200$ ergibt die Formel $l : d = 0,13 \cdot \sqrt{1200} = 4,5$, bei Gussstahl $l : d = 0,17 \cdot \sqrt{1200} = 5,9$. Die ausgezeichneten Ventilatoren von Sturtevant in Boston haben gussstählerne Wellen, deren Zapfen das Längenverhältniss 5 bis 6 zeigen.

*) S. Portefeuille de John Cockerill I, S. 189.

**) Die später erbaute Maschine auf Grand Hornu zeigt bei schmiedeisenen Zapfen p nur $= 0,51$, also fast genau wie oben.

***) Z. B. wie Marks, Crank pins and journals, Philadelphia bei Kildare, 1878, zeigt, auf der Swatara $p = 0,28$, Saco $p = 0,29$, Wampanoag $p = 0,51$, Wabash $p = 0,33$. Bei diesen Maschinen, von denen die dritte 100" engl. Cylinderdurchmesser, 16" Kurbelzapfendicke, 27" Kurbelzapfenlänge hat, beträgt die Spannung \mathcal{E} an der Zapfenwurzel der vorigen Reihenfolge nach: $\mathcal{E} = 2,84, 2,16, 7,41$ (1), 1,93. Beide Werthreihen zeigen starke Schwankungen.

Tabelle über die Stirnzapfen.

d	e	Einseitige Belastung P			Wechelseitige Belastung P		
		Schm.	Gss.	Gsst.	Schm.	Gss.	Gsst.
		$\frac{l}{d} = 1,5$	$\frac{l}{d} = 1,5$	$\frac{l}{d} = 1,94$	$\frac{l}{d} = 1$	$\frac{l}{d} = 1$	$\frac{l}{d} = 1,3$
25	5	494	244	625	625	318	807
30	5	720	351	900	900	450	1 162
35	6	968	479	1 225	1 225	613	1 582
40	6	1 280	625	1 600	1 600	880	2 066
45	6	1 620	791	2 025	2 025	1 013	2 615
50	7	2 000	977	2 500	2 500	1 250	3 228
55	7	2 420	1 182	3 025	3 025	1 513	3 906
60	8	2 880	1 406	3 600	3 600	1 800	4 649
65	8	3 380	1 650	4 225	4 225	2 113	5 456
70	8	3 920	1 914	4 900	4 900	2 450	6 327
75	8	4 500	2 197	5 625	5 625	2 813	7 264
80	9	5 120	2 500	6 400	6 400	3 200	8 264
85	9	5 780	2 822	7 225	7 225	—	9 330
90	10	6 480	3 164	8 100	8 100	—	10 460
95	10	7 220	3 525	9 025	9 025	—	11 654
100	10	8 000	3 906	10 000	10 000	—	12 913
105	10	8 820	4 307	11 025	11 025	—	14 237
110	11	9 680	4 727	12 100	12 100	—	15 625
115	11	10 580	5 166	13 225	13 225	—	17 078
120	12	11 520	5 625	14 400	14 400	—	18 595
130	12	13 520	6 602	16 900	16 900	—	21 823
140	13	15 680	7 656	19 600	19 600	—	25 310
150	13	18 000	8 789	22 500	22 500	—	29 054
160	15	20 480	10 000	25 600	25 600	—	33 058
170	15	23 120	11 289	28 900	28 900	—	37 319
180	16	25 920	12 656	32 400	32 400	—	41 838
190	16	28 880	14 102	36 100	36 100	—	46 616
200	17	32 000	15 625	40 000	40 000	—	51 652
210	18	35 280	17 226	44 100	44 100	—	56 947
220	18	38 720	18 906	48 400	48 400	—	62 499
230	19	41 796	20 664	52 900	52 900	—	68 310
240	20	46 080	22 500	57 600	57 600	—	74 379
260	21	54 080	26 406	67 600	67 600	—	87 292
280	23	62 720	30 625	78 400	78 400	—	101 230
300	24	72 000	35 156	90 000	90 000	—	116 218