Resultate für den Maschinenbau

[Hauptband]

Redtenbacher, Ferdinand

Mannheim, 1848

Zahnräder

urn:nbn:de:bsz:31-282867

a und b die Entfernungen des Mittelpunktes der Spannrolle von den Punkten, in welchen der Riemen die Rollen berührt;

so hat man annäherungsweise, wenn der Riemen durch die Spannrolle nicht zu stark eingebogen wird:

$$q = 2 P \sqrt{\frac{2 (a + b)}{a b} \quad \frac{L (1 \cdot 5 P - T)}{\Omega \varepsilon}}.$$

Für den Fall, dass die Spannung T gleich o und dass a = b ist, hat man:

$$q = 5 P \sqrt{\frac{L P}{\Omega \varepsilon a}}.$$

Man darf hier setzen:

$$\frac{P}{\Omega} = 10, \quad \varepsilon = 400,$$

und dann wird:

$$q = 0 \cdot 8 P \sqrt{\frac{L}{a}}.$$

Zahnräder.

84.

Bestimmung aller Dimensionen der Zahnräder, wenn die totale Kraft, welche in einer Welle enthalten ist, durch zwei Zahnräder auf eine zweite Welle übertragen werden soll.

a) Durchmesser der Wellen.

Diese sind nach den in Nr. 66 bis 72 enthaltenen Regeln oder Tabellen zu bestimmen.

b) Relative Gösse eines Rades.

Damit die Räder passende Verhältnisse erhalten, müssen die Halbmesser derselben zum Durchmesser der Wellen in einem gewissen Verhältnisse stehen. Wir nennen das Verhältniss zwischen dem Halbmesser eines Rades und dem Durchmesser der entsprechenden Welle: die relative Grösse des Rades, und sagen von einem Rade, dessen relative Grösse z. B. 5 ist, es sei ein fünffaches Rad in Bezug auf eine gewisse Welle. — Wenn die Uebersetzungszahl nicht grösser als 5 ist, darf für das langsamer gehende zweier aufeinanderwirkender Zahnräder immer ein fünf- oder sechsfaches Rad genommen werden; ein fünffaches für aufrechte, ein sechsfaches für liegende Wellbäume. Der Halbmesser des grösseren Rades ist also für aufrechte Wellbäume fünfmal, für liegende Wellbäume sechsmal so gross zu machen, als der Durchmesser des Wellbaums. — Der Halbmesser des kleineren Rades wird gefunden, wenn man jenen des grösseren Rades durch die Uebersetzungszahl dividirt. — Wenn die Uebersetzungszahl grösser als fünf ist, ist es am zweckmässigsten, von dem Halbmesser des kleineren Rades auszugehen. Man darf in diesem Falle den Halbmesser des kleineren Rades 1·5 bis 3 Mal so gross nehmen, als den Durchmesser der schneller gehenden Welle, und dann findet man den Halbmesser des grösseren Rades, wenn man jenen des kleineren Rades mit der Uebersetzungszahl multiplizirt.

c) Dimensionen und Anzahl der Zähne für Räder von Maschinen, die durch Menschenkräfte oder durch andere Motoren bewegt werden.

Es sei:

R der Halbmesser eines Rades;
d der Durchmesser der Welle;
α die Dicke auf dem Theilkreis gemessen, eines eisernen Zahnes;
β die Breite des Zahnes, d. h. die, bei Stirnrädern parallel mit der Axe und bei Kegelrädern nach der Spitze des Grundkegels hin gemessene, Dimension eines Zahns;
γ die Länge eines Zahns, d. h. die, bei Stirnrädern nach radialer Richtung, bei Kegelrädern nach der Spitze des Ergänzungskegels hin gemessene Dimension eines Zahns;
t die Zahntheilung (der Abstich);
$\mathfrak{N}$ die Anzahl der Zähne des Rades.

Dies vorausgesetzt, hat man zur Bestimmung von $\alpha\ \beta\ \gamma\ \mathfrak{N}$, wenn R und d gegeben sind:

$$\frac{\beta}{d} = 1{\cdot}33 \sqrt{\frac{\beta}{\alpha} \cdot \frac{d}{R}}.$$

$$\frac{\gamma}{\alpha} = \frac{3}{2}.$$

$$\frac{t}{\alpha} = \begin{cases} 2{\cdot}1 & \text{für Eisen auf Eisen,} \\ 2{\cdot}67 & \text{» Holz „ „} \end{cases}$$

$$\mathfrak{N} = \begin{cases} 2{\cdot}25 \left(\frac{R}{d}\right)^{\frac{3}{2}} \left(\frac{\beta}{\alpha}\right)^{\frac{1}{2}} = 3 \cdot \left(\frac{\beta}{\alpha}\right) \left(\frac{R}{\beta}\right) & \text{für Eisen auf Eisen,} \\ 1{\cdot}79 \left(\frac{R}{d}\right)^{\frac{3}{2}} \left(\frac{\beta}{\alpha}\right)^{\frac{1}{2}} = 2{\cdot}38 \left(\frac{\beta}{\alpha}\right) \left(\frac{R}{\beta}\right) & \text{für Holz auf Eisen,} \end{cases}$$

Die Resultate, welche diese Formeln liefern, sind in der ersteren der zwei nachfolgenden Tabellen zusammengestellt. Dieselbe gibt für verschiedene Werthe von $\frac{R}{d}$ und von $\frac{\beta}{\alpha}$ die entsprechende Werthe von $\frac{\beta}{d}$ und von $\mathfrak{N}$. Für Räder von Maschinen, die durch Menschenkräfte bewegt werden, ist $\frac{\beta}{\alpha}$ gleich 4 bis 5 zu nehmen. Für Räder, die durch Wasser- oder Dampfkraft bewegt werden, darf man in den meisten Fällen $\frac{\beta}{\alpha} = 6$ nehmen. Für sehr schnell gehende Transmissisionsräder ist zur Verminderung der Abnützung der Zähne eine grosse Zahnbreite vortheilhaft; daher für derlei Räder $\frac{\beta}{\alpha}$ gleich 7 bis 8 genommen werden soll. Um den Gebrauch dieser Tabelle zu erklären, dienen folgende Beispiele:

Es soll ein sechsfaches Rad für eine Welle von 8 Centm. Durchmesser construirt werden. Rad und Welle gehören zu einer Winde, die durch Menschenkraft bewegt wird. Es ist also:

Durchmesser der Welle . . . . $d = 8$ Centm.

Relative Grösse des Rades . . . . $\frac{R}{d} = 6.$

Halbmesser des Rades . . . . $R = 6 \times 8 = 48$ Centm.

Verhältniss zwischen Breite und Dicke der Zähne . $\frac{\beta}{\alpha} = 5.$

Verhältniss zwischen der Zahnbreite und dem Wellendurchmesser (nach Tabelle) . . . . . . $\frac{\beta}{d} = 1 \cdot 212$

Zahnbreite . . . . $\beta = 8 \times 1{\cdot}212 = 9{\cdot}696$ Centm.

Anzahl der Zähne (Eisen auf Eisen nach Tabelle) . . . . $\mathfrak{N} = 74$

Es soll ein fünffaches Transmissionsrad für eine Welle von 16 Centm. Durchmesser construirt werden. Hier ist:

Durchmesser der Welle . . . . $d = 16$ Centm.

Relative Grösse des Rades . . . . $\frac{R}{d} = 5$

Verhältniss zwischen Breite und Dicke der Zähne . $\frac{\beta}{\alpha} = 6$

Verhältniss zwischen Zahnbreite und Wellendurchmesser (nach Tabelle) . . . . $\frac{\beta}{d} = 1 \cdot 458$

Breite der Zähne . . . . $\beta = 1 \cdot 458 \times 16 = 23 \cdot 3$ Centm.

Anzahl der Zähne (Holz auf Eisen) . . . . . . $\mathfrak{N} = 50$

Es soll ein 4·5faches Transmissionsrad für eine sehr schnell gehende Welle von 12 Centm. Durchmesser construirt werden. Hier ist:

der Durchmesser der Welle . . . . $d = 12$ Centm.

relative Grösse des Rades . . . . $\frac{R}{d} = 4 \cdot 5$

Halbmesser des Rades . . . . . $R = 4 \cdot 5 \times 12 = 54$ Centm.

Verhältniss zwischen Breite und Dicke der Zähne $\frac{\beta}{\alpha} = 7$

Verhältniss zwischen Zahnbreite und Wellendicke $\frac{\beta}{d} = 1 \cdot 659$

Zahnbreite . . . . $\beta = 1 \cdot 659 \times 12 = 20$ Centm.

Anzahl der Zähne (Holz auf Eisen) . . . . . . $\mathfrak{N} = 46.$

d) Bestimmung der Welle, welche einem Rade von gegebenen Abmessungen entspricht. Wenn das Rad gegeben und die Welle gesucht wird, kennt man: $\frac{R}{\beta}\ \frac{\beta}{\alpha}$, und dann findet man:

$$\frac{d}{\beta} = 0{\cdot}826 \frac{\sqrt[3]{\frac{R}{\beta}}}{\sqrt[3]{\frac{\beta}{\alpha}}}$$

$$\mathfrak{N} = \begin{cases} 3\left(\frac{\beta}{\alpha}\right)\left(\frac{R}{\beta}\right) & \text{für Eisen auf Eisen} \\ 2 \cdot 38\left(\frac{\beta}{\alpha}\right)\left(\frac{R}{\beta}\right) & \text{„ Holz „ „} \end{cases}$$

Die Resultate, welche diese Formeln liefern, sind in der letzteren der zwei folgenden Tabellen zusammengestellt.

Beispiel. Es sei für ein bestehendes Rad $\beta = 20$ Centm. $R = 100$ Centm. $\frac{\beta}{\alpha} = 6$. Dann findet man in der Tabelle: $\frac{d}{\beta} = 0 \cdot 771$; folglich wird $d = 0 \cdot 771 \times 20 = 15 \cdot 42$ Centm.; ferner ist nach der Tabelle für Eisen auf Eisen: $\mathfrak{N} = 90$.

Zu 84. c. ***Tabelle über die Dimensionen und Anzahl der Zähne für Räder.***

$\frac{R}{d}$	$\frac{\beta}{\alpha} = 4$			$\frac{\beta}{\alpha} = 5$			$\frac{\beta}{\alpha} = 6$			$\frac{\beta}{\alpha} = 7$			$\frac{\beta}{\alpha} = 8$		
	$\frac{\beta}{d}$	$\mathfrak{N}$ Eisen Eisen.	$\mathfrak{N}$ Holz Eisen.	$\frac{\beta}{d}$	$\mathfrak{N}$ Eisen Eisen.	$\mathfrak{N}$ Holz Eisen.	$\frac{\beta}{d}$	$\mathfrak{N}$ Eisen Eisen.	$\mathfrak{N}$ Holz Eisen.	$\frac{\beta}{d}$	$\mathfrak{N}$ Eisen Eisen.	$\mathfrak{N}$ Holz Eisen.	$\frac{\beta}{d}$	$\mathfrak{N}$ Eisen Eisen.	$\mathfrak{N}$ Holz Eisen.
1·0	2·660	5	4	2·967	5	4	3·258	6	5	3·519	6	5	3.761	6	5
1·5	2·172	8	6	2·424	9	7	2·660	10	8	2·872	11	9	3·071	12	10
2·0	1·860	13	10	2·076	14	11	2·278	15	12	2·460	17	14	2·630	18	14
2·5	1·682	18	14	1·877	20	16	2·060	22	18	2·225	24	19	2·378	25	20
3·0	1·536	23	18	1·714	26	21	1·882	29	23	2·032	31	25	2·171	33	26
3·5	1·422	29	23	1·586	33	26	1·741	36	29	1·881	39	31	2·010	42	34
4·0	1·330	36	29	1·484	40	32	1·628	44	35	1·760	48	38	1·880	51	41
4·5	1·254	43	34	1·399	48	38	1·530	52	42	1·659	57	46	1·774	61	49
5·0	1·190	50	40	1·328	56	45	1·458	62	50	1·574	67	54	1·682	71	57
5·5	1·134	58	46	1·265	65	52	1·411	71	57	1·500	77	62	1·602	82	66
6·0	1·086	66	53	1·212	74	59	1·330	81	65	1·437	88	70	1·535	94	75
6·5	1·048	75	60	1·169	83	66	1·284	91	73	1·386	99	79	1·481	105	84
7·0	1·006	83	66	1·122	93	74	1·231	102	82	1·331	110	88	1·422	118	94
7·5	0·971	92	74	1·083	103	82	1·189	113	90	1·284	122	98	1·373	131	105
8·0	0·941	102	82	1.049	114	91	1·153	125	100	1·245	135	108	1·330	144	115
8·5	0·912	112	90	1·017	125	100	1·117	137	110	1·207	148	118	1·290	158	126
9·0	0·887	122	98	0·990	136	109	1·086	148	118	1·172	161	129	1·254	168	134
9·5	0·863	132	106	0·963	147	118	1·063	161	129	1·141	174	139	1.220	186	149
10	0·841	142	114	0·938	159	127	1·030	174	139	1·112	188	150	1·188	201	161

Zu 84 d. *Tabelle zur Bestimmung der Welle, welche einem Rade von gegebenen Abmessungen entspricht.*

$\frac{R}{\beta}$	$\frac{\beta}{\alpha} = 4$			$\frac{\beta}{\alpha} = 5$			$\frac{\beta}{\alpha} = 6$			$\frac{\beta}{\alpha} = 7$			$\frac{\beta}{\alpha} = 8$		
	$\frac{d}{\beta}$	𝔑 Eisen Eisen.	𝔑 Holz Eisen.	$\frac{d}{\beta}$	𝔑 Eisen Eisen.	𝔑 Holz Eisen.	$\frac{d}{\beta}$	𝔑 Eisen Eisen.	𝔑 Holz Eisen.	$\frac{d}{\beta}$	𝔑 Eisen Eisen.	𝔑 Holz Eisen.	$\frac{d}{\beta}$	𝔑 Eisen Eisen.	𝔑 Holz Eisen.
0·5	0·412	6	5	0·382	8	6	0·358	9	7	0·340	11	9	0·325	12	10
1·0	0·518	12	10	0·480	15	12	0·451	18	14	0·428	21	17	0·410	24	19
1·5	0·593	18	14	0·597	23	18	0·456	27	22	0·491	31	25	0·470	36	29
2·0	0·653	24	19	0 605	30	24	0·568	36	29	0·540	42	34	0·517	48	38
2·5	0·703	30	24	0·652	38	30	0·612	45	36	0·562	53	42	0·557	60	48
3·0	0·745	36	29	0·692	45	36	0·650	54	43	0·618	63	50	0·591	72	58
3·5	0·788	42	34	0·729	53	42	0·746	63	50	0·650	74	59	0·623	84	67
4·0	0·824	48	38	0·762	60	48	0·716	72	57	0·680	84	67	0·651	96	77
4·5	0·856	54	43	0·793	68	54	0·744	81	64	0·708	95	76	0·681	108	86
5·0	0·887	60	48	0·821	75	60	0·771	90	72	0·733	105	84	0·701	120	96
5·5	0·915	66	53	0·848	83	66	0 796	99	79	0·756	116	93	0·724	132	106
6·0	0·942	72	58	0·873	90	72	0·819	108	86	0·779	126	101	0·746	144	115
6·5	0·968	78	62	0·895	98	78	0.841	117	94	0·800	136	109	0·765	156	125
7·0	0·992	84	67	0·918	105	84	0.862	126	101	0·820	147	114	0·784	168	134
7·5	1·015	90	72	0·940	113	90	0·882	135	108	0·839	157	126	0·803	180	144
8·0	1·037	96	79	0·960	120	96	0·902	144	115	0·857	168	134	0·820	192	154
8·5	1·058	102	82	0·980	127	102	0·920	153	122	0·875	179	143	0·837	204	163
9·0	1·078	108	86	0·998	135	108	0·938	162	130	0·892	189	151	0·854	216	173
9·5	1·098	114	91	1.017	143	114	0·955	171	136	0·908	200	160	0·869	228	182
10·0	1·117	120	96	1·034	150	120	0·970	180	144	0·923	221	177	0·884	240	192

e) Querschnittsdimensionen der Zahnkränze. Tafel IX.

Die Querschnittsdimensionen des Zahnkranzes dürfen alle der Zahnbreite β proportionel gemacht werden. Die Figuren 73 bis 81 enthalten die Verhältnisszahlen zwischen den Querschnittsdimensionen der Zahnkränze und der Zahnbreite. Die Verhältnisszahlen der Figuren 73, 75, 76, 78, 79, 81 dürfen für jedes Verhältniss von $\frac{\beta}{\alpha}$ gebraucht werden. Die Verhältnisszahlen der Figuren 74, 77, 80 gelten aber nur für den gewöhnlicheren Fall, wenn $\frac{\beta}{\alpha} = 6$ ist. Für den Gebrauch dieser Zeichnungen dienen folgende Erklärungen:

Fig. 73. Querschnitt eines Stirnrades mit hölzernen Zähnen für Räder bis zu 20 Centm. Zahnbreite.
Fig. 75. Querschnitt eines Kegelrades mit hölzernen Zähnen für Räder bis zu 20 Centm. Zahnbreite.
Fig. 74. Durchschnitt eines Kegel- oder Stirnrades mit hölzernen Zähnen.
Fig. 76. Querschnitt eines Stirnrades mit eisernen Zähnen.
Fig. 78. Querschnitt eines Kegelrades mit eisernen Zähnen.
Fig. 77. Ansicht eines Stirnrades mit eisernen Zähnen.
Fig. 79. Querschnitt eines Stirnrades mit hölzernen Zähnen für Räder über 20 Centm. Zahnbreite.
Fig. 81. Querschnitt eines Kegelrades mit hölzernen Zähnen für Räder über 20 Centm. Zahnbreite.
Fig. 80. Durchschnitt eines Rades mit hölzernen Zähnen.

f) Dimensionen der Hülse und des Keiles. Fig. 82—85.

Länge der Hülse . . . . $l = \beta + 0{\cdot}06\ R$
Durchmesser der Höhlung . . . . $d_1 = \frac{5}{4}\ d$
Metalldicke der Hülse . . . . $\delta = \frac{1}{2} + \frac{1}{3}\ d$
Breite des Keiles . . . . $k = 0{\cdot}9\ \delta$
Dicke des Keiles . . . . $= \frac{1}{2}\ k$

g) Anzahl und Dimensionen der Radarme. Fig. 82—85.

Die Anzahl der Radarme ist gleich der relativen Grösse $\frac{R}{d}$ des Rades. Ist $\frac{R}{d}$ eine unganze Zahl, so nimmt man für die Anzahl der Arme die ganze Zahl, welche dem Werth von $\frac{R}{d}$ am nächsten liegt.

Nennt man:

$\mathfrak{N}$ die Anzahl der Arme eines Rades;
d den Durchmesser der Welle;
h die Breite der Hauptnerve eines Armes;

so hat man zur Bestimmung von h die Formel:

$$\frac{h}{d} = \frac{1 \cdot 7}{\sqrt[3]{\mathfrak{N}}}$$

Aus dieser findet man:

für $\mathfrak{N}$ =	3	4	5	6	8	10	12.
$\frac{h}{d}$ =	1·18	1·08	1·00	0·94	0·86	0·79	0·75.

Ist h bestimmt, so hat man ferner zu nehmen:

Dicke der Hauptnerve . . . . $= \frac{1}{5}$ h.

Dicke der Nebennerve . . . . $= \frac{1}{6}$ h.

Breite des Arms am Zahnkranz . . . . $= \frac{3}{4}$ h.

85.

Abmessungen der Räder, wenn dieselben nur einen Theil der Kraft übertragen, welche in der Welle wirkt.

Wenn nur ein Theil der Kraft, welche in einer Welle enthalten ist, vermittelst zweier Räder auf eine zweite Welle übertragen werden soll, dürfen die in vorhergehender N° aufgestellten Regeln ebenfalls angewendet werden; man muss jedoch statt des wirklichen Durchmessers der treibenden Welle denjenigen Durchmesser in Rechnung bringen, welcher der Kraft entspricht, die in der That übertragen wird. Beispiel: Von einer Welle, welche 156 Pferdekräfte mit 80 Umdrehungen per 1 Min. fortpflanzt, sollen vermittelst zweier Räder 40 Pferdekräfte auf eine zweite Welle übertragen werden, und diese letztere soll per 1 Min. 160 Umdrehungen machen.

Hier ist:

Wirklicher Durchmesser der treibenenden Welle $16 \sqrt[3]{\frac{156}{80}} = 20$ Ctm.

Wirklicher Durchmesser der getriebenen Welle $16 \sqrt[3]{\frac{40}{160}} = 10$ Ctm.

Durchmesser einer Transmissionswelle für 40 Pferdekraft und

80 Umdrehungen per 1 Min. . . . . . . $16 \sqrt[3]{\frac{40}{80}} = 13$ Ctm.

Vermittelst dieses letzteren Durchmessers findet man nun durch Anwendung der in N° 84 aufgestellten Regeln:

Halbmesser des treibenden Rades . . . . $5 \times 13 = 65$ Ctm.

Halbmesser des getriebenen Rades . . . . . . $\frac{1}{2}\, 65 = 32\cdot5$ Ctm.

Zahnbreite der Räder $\left(\frac{\beta}{\alpha} = 6, \frac{R}{d} = 5\right)$ $1\cdot458 \times 13 = 18\cdot95$ Ctm.

Anzahl der Zähne (Eisen auf Eisen) . . . . $\begin{cases} = 62. \\ = 31. \end{cases}$

86.

Abmessungen der Räder, wenn ein Theil der Kraft, welche in der treibenden Welle enthalten ist, vermittelst eines in mehrere andere Räder eingreifenden Rades, auf mehrere Axen übertragen werden soll.

Auch in diesem Falle können die Regeln von N° 84 angewendet werden, wenn man die geeigneten Wellendurchmesser in Rechnung bringt. Wie diese gefunden werden, erhellt aus folgendem Beispiel. Eine Welle A macht per 1 Min. 60 Umdrehungen und enthält einen Effekt von 80 Pferden. Von dieser Welle aus sollen 50 Pferdekraft auf drei andere Wellen B C D übertragen werden, und zwar auf B 10, auf C 15 und auf D 25 Pferdekräfte, und die Geschwindigkeiten dieser drei Wellen sollen sein: für B 60, für C 80, für D 120 Umdrehungen per 1 Min. Die mit den Wellen A B C D zu verbindenden Räder seien A_1 B_1 C_1 D_1.

Die wirklichen Wellendurchmesser sind für:

	A	B	C	D
nahe	8	8·6	9·4	9·5 Centm.

Die Zähne des Rades A müssen so stark sein wie bei einem Rad, welches mit 60 Umdrehungen einen Effekt von 25 Pferdekräften überträgt. Zur Bestimmung der Zähne muss demnach eine Welle von $16 \sqrt[3]{\frac{25}{60}} =$ 12 Centm. in Rechnung gebracht werden, und man erhält:

Halbmesser des Rades A . . . . $6 \times 12 = 72$ Centm.

" " " B . . . . $= 72$ "

" " " C . . . . $72 \frac{60}{80} = 54$ "

Durchmesser des Rades D . . . . $72 \frac{60}{120} = 36$ Centm.

Zahnbreite sämmlicher Räder $\left(\frac{\beta}{\alpha} = 6\right) 1{\cdot}33 \times 12 = 15{\cdot}96$ Ctm.

Anzahl der Zähne des Rades A (Eisen auf Eisen) $= 81$.

Die Arme des Rades A übertragen einen Effekt von 50 Pferden; zur Bestimmung der Arme des Rades A muss demnach eine Welle von $16 \sqrt[3]{\frac{50}{60}} = 15$ Centm. in Rechnung gebracht werden, und man erhält:

Anzahl der Arme des Rades A . . . . $= 6$.
Breite eines Radarmes . . . . $15 \times 0{\cdot}94 = 14{\cdot}1$.

Die Arme der Räder B C D sind nach den wirklichen Wellendurchmessern von B_1 C_1 D_1 zu construiren.

87.

Die Schraube ohne Ende.

Wenn eine Schraube ohne Ende sammt dem dazu gehörigen Zahnrad construirt werden soll, wird jederzeit eine der beiden Drehungsaxen entweder unmittelbar gegeben oder leicht zu bestimmen sein.

Nennt man nun:
d den Durchmesser der Schraubenaxe;
d_1 den Durchmesser der Radaxe;
$\mathfrak{N}$ die Anzahl der Zähne des Rades;
β die Zahnbreite, α die Zahndicke;
R den Halbmesser des Rades;
r den Halbmesser der Schraube;

so hat man, wenn $\mathfrak{N}$ und entweder d oder d_1 bekannt sind, zur Bestimmung der übrigen Grössen folgende Beziehungen:

$$\frac{d_1}{d} = 0{\cdot}6 \sqrt[3]{\mathfrak{N}}.$$

$$\frac{R}{d} = 0{\cdot}21\, \mathfrak{N}$$

$$\frac{\beta}{d} = 2{\cdot}5$$

$$\frac{r}{d} = 2$$

$$\frac{\beta}{\alpha} = 4$$