ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍՍՀ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ ՏԵՂԵԿԱԳԻՐ
ИЗВЕСТИЯ АКАДЕМИИ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР
Տեխնիկական գիտություններ, սերիա XX, № 1, 1967 Серия технических наук

МАШИНОВЕДЕНИЕ

Г. С. ДЖЕНДЕРЕДЖЯН

ПЕРЕМЕЩЕНИЯ И ДАВЛЕНИЯ В ПОДАТЛИВОМ ПЛОСКОМ СТЫКЕ

1. Контактные деформации и износ прямолинейных направляющих станков и перемещаемых по ним элементов в основном характеризуются величинами истинных нормальных давлений в стыке [1]. Поэтому основным для направляющих станков является расчет по давлениям [2, 3].

Теория и расчет направляющих, предложенные проф. Д. Н. Решетовым, исходят из того предположения, что давления по длине направляющих распределяются прямолинейно. Автор считает, что „Это предположение является условным и физически соответствует случаю, когда жесткость контактирующих тел, рассматриваемых как балки, достаточно велика по сравнению с жесткостью поверхностных слоев в стыке, причем последние следуют линейному закону деформации" [3]. Такое допущение, естественно, упрощает расчетную схему, но из-за отсутствия учета влияния деформации стыкуемых элементов, поставленная задача решается с большим приближением. В действительности „Физические условия работы суппортов и ползунов очень сложны, так как эти детали обычно представляют собой весьма податливые системы, и их деформации существенно сказываются на распределении давлений в направляющих" [1]. К аналогичному заключению привели предварительные эксперименты, проведенные автором на двух новых токарных станках 1К62 и на „*Lang*". Нагружая суппорт над задней направляющей, специальными датчиками [4] измерялись перемещения по длине стыка. Максимальные перемещения получались непосредственно под нагрузкой. По мере удаления от точки приложения нагрузки перемещения постепенно уменьшались, а на краю суппорта наблюдались отрывы. Такая же картина наблюдалась и при затянутых и ослабленных планках. При больших нагружениях наблюдались отрывы у крайних точек суппорта даже при сильно натянутых планках. Следовательно, материалы и конструктивные размеры элементов станка, обеспечивающие поступательное движение, таковы, что под действием сил они деформируются и их деформации, исчисляемые в микронах и в долях микрона, существенно влияют на картину распределения давлений в стыке.

В свете изложенного считаем, что вопросы влияния жесткостей стыкуемых элементов на картину распределения давлений в стыке

весьма актуальны и их изучение представляет значительный интерес. Этому вопросу и посвящена настоящая работа, которая выполнялась в лаборатории станков Ереванского политехнического института под руководством акад. АН АрмССР М. В. Касьяна.

Испытания проводились на специальном винтовом прессе (рис. 1), смонтированном на станине токарного станка „Ленд". Такая установ-

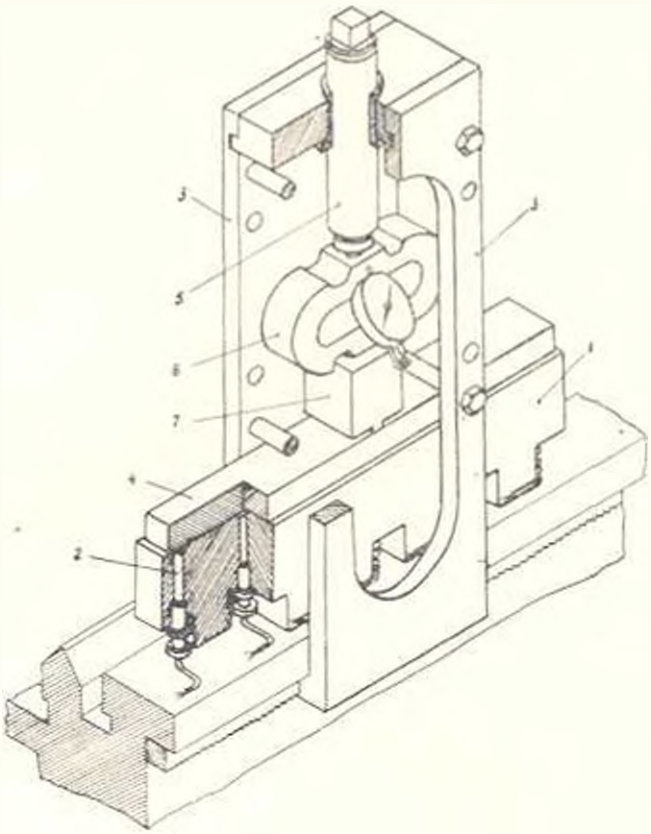

Рис. 1. Установка для испытаний

ка дала возможность использовать большую жесткость станины, на которой закреплялось основание 1. Брус* 4, стыкуемый с основанием, в середине нагружался по ширине равномерно распределенной нагрузкой. Усилие от винта 5 передавалось брусу через образцовый динамометр 6 и жесткую балянку 7. Во избежание остаточных деформаций бруса при его максимальном нагружении был подобран соответствующая ширина опорной ножки балянки 112 мм. Тензометрические индикаторы 2 [4], установленные в ряд по длине стыка (по средней линии), предварительно затягивались так, чтобы они находились в постоянном контакте с поверхностью испытуемого бруса.

* Здесь и далее испытуемые образцы именуются брусьями.

Это давало возможность получить перемещения точек как внедрения так и отрыва стыка.

Испытывались брусья, имеющие одинаковые размеры по длине ($L = 650$ *мм*) и ширине ($B = 80$ *мм*), но разные по толщине ($h = 10$; 15; 20; 30; 40; 50; 60 *мм*).

С целью удвоения количества образцов каждый брус обрабатывался с двух сторон. Стыкуемые поверхности брусьев и основания обрабатывались шлифованием по второму классу точности с чистотой $\nabla_9 - \nabla_{10}$. Таких комплектов было два: один из чугуна марки *Сч* 18—36; другой — *Сч* 21—40. Марки чугуна были подобраны наиболее ходовые, применяемые в станкостроении. Для всех испытуемых брусьев жесткость основания оставалась постоянной.

На каждый брус передавалась нагрузка до 5000 *кГ* с интервалами измерений по 500 *кГ*. По показаниям индикаторов, расположенных в ряд по длине стыка, определяли величины перемещений соответствующих точек. С целью получения стабильных результатов стык до начала измерений несколько раз нагружался. Перемещения точек стыка измерялись при начальном среднем давлении ≈ 2 *кГ/см*^{2}.

По полученным величинам перемещений точек были построены упругие линии стыков брусьев, имеющих разные толщины. Поскольку изучение упругих линий брусьев послужило основным критерием в суждении, то точность и идентичность их построения играли важную роль. Поэтому для построения этих кривых применялось координатное лекало*. При помощи этого прибора установкой свободно деформируемой линейки по координатам перемещений измеряемых точек без необходимости стыкования отдельных отрезков дуг строились кривые стыка. Точность построения кривых фактически не зависела от визуальных способностей и навыков исполнителя. При вычерчивании кривых упругих линий расстояния между измеряемыми точками выдерживались натурные, а перемещения точек стыка увеличивались в 10^4 раз.

Изучение кривых упругих линий стыков (рис. 2), полученных при центральном нагружении показало, что распределение давлений в стыке по длине контакта зависит от жесткости стыкуемых элементов при постоянной жесткости основания; длина контактной части меньше длины бруса, и с увеличением нагрузки длина контакта уменьшается; в пределах контакта упругая линия стыка имеет форму, близкую к квадратной параболе; перемещение в центре контакта в зависимости от нагрузки меняется линейно и зависит от толщины бруса. Отступление от линейности наблюдается при малых нагружениях и толщинах бруса меньше 30 *мм*. С увеличением толщины бруса перемещения в центре стыка уменьшаются и при толщинах больше 60 *мм* разницы в прогибах не наблюдается. Это в равной мере

* Заявка на авторское свидетельство № 1063461/28—12.

относится и к длине контактной линии: брусья, изготовленные из чугунов марки *Сч* 18—36 и *Сч* 21—40, дали одинаковые результаты.

Дополнительные опыты, проведенные с брусьями, отличающимися от испытуемых своими размерами по ширине, подтвердили, что жесткость прижимной болванки 7 (рис. 1) практически обеспечивает

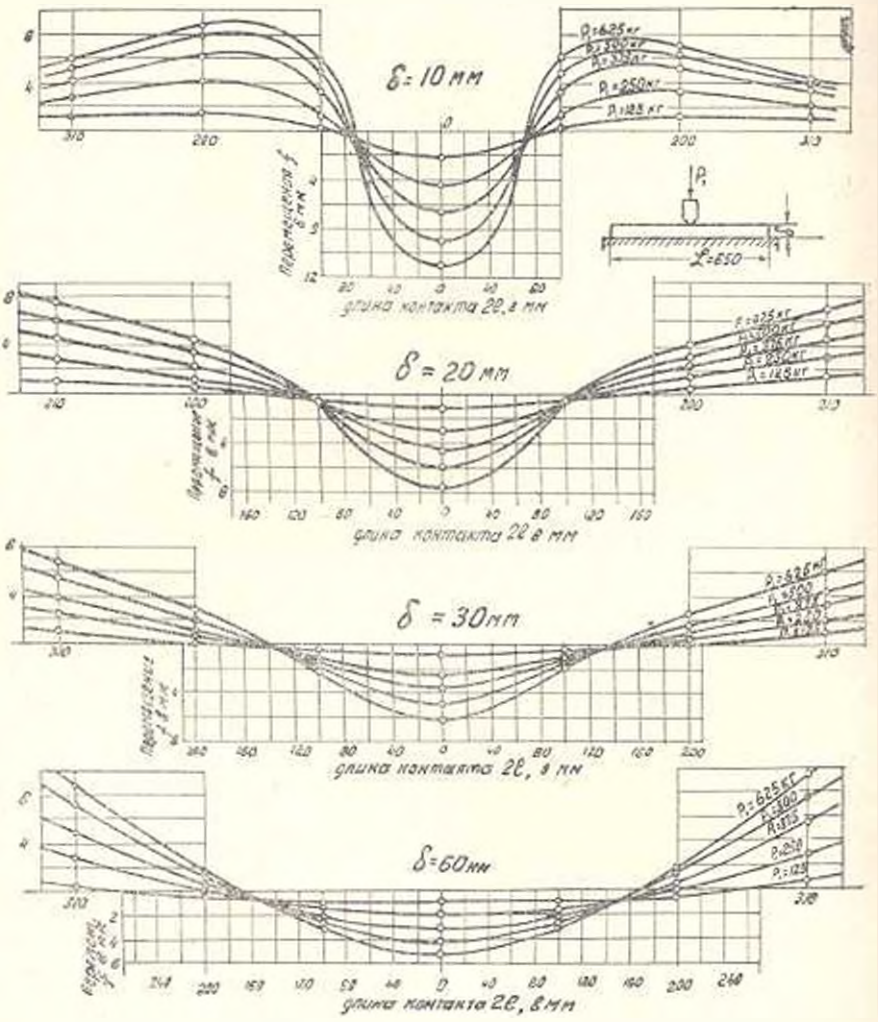

Рис. 2. Упругие линии брусьев.

равномерную нагрузку по ширине бруса. Это позволило в дальнейшем взамен бруса шириной B с нагрузкой P рассматривать брус единичной ширины с соответствующей нагрузкой ($P_1 = P/B$).

2. На рис. 3 представлены совмещенные графики сил P_1 и максимальных перемещений в центре стыка f_0 для брусьев, имеющих разные толщины. Графики подтверждают, что по мере увеличения толщины бруса увеличивается тангенс угла наклона линии $P_1 - f_0$, причем для последующих брусьев разница в углах резко уменьшается. Максимальное перемещение в центре стыка под нагрузкой

$$f_0 = \frac{P_1 C}{EI_1}, \tag{1}$$

где EI_1 — изгибная жесткость бруса, C — коэффициент пропорциональности.

Для проведенных экспериментов при $l_1 \geqslant 2{,}25$ *см*

$$C = (0{,}315 + 0{,}825\, l_1)\ см^3. \tag{2}$$

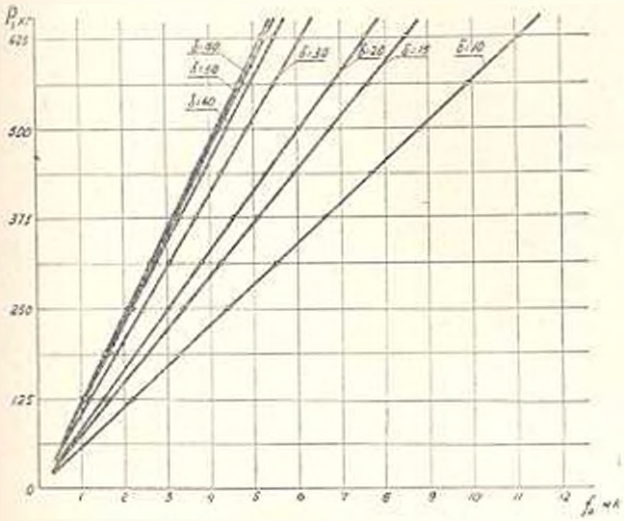

Рис. 3. Зависимости $P_1 - f_0$ при начальном среднем давлении $\approx 2\ \frac{кг}{см^2}$.

Для брусьев, имеющих толщину $30 \leqslant \delta \leqslant 60$ *мм*, в силу (1) и (2)

$$f_0 = \frac{P_1 (0{,}315 + 0{,}825\, l_1)}{EI_1} 10^3\ мк. \tag{3}$$

3. Для определения давлений исходим из предположения, что перемещения и давления в стыке пропорциональны, т. е.

$$f = K \cdot p. \tag{4}$$

При этом в отличие от гипотезы Винклера считаем, что длина контакта есть величина переменная, зависящая от жесткости бруса и действующей силы. Здесь K — коэффициент пропорциональности, который принято называть коэффициентом контактной податливости [1, 3].

Давление в любой точке контакта можно определить по формуле

$$p_x = p_0 \left(1 - \frac{x^2}{l^2}\right) кг/см^2, \tag{5}$$

где p_0 — максимальное давление в центре стыка под нагрузкой;

p_x — давление в любой точке контакта на расстоянии x от вершины параболы, причем $0 \leqslant x \leqslant l$.

Величина максимального давления p_0 определяется из равенства внешней силы P_1 и площади эпюры давлений описываемой квадратной параболой:

$$P_0 = \frac{3}{2}\frac{P_1}{1\cdot(2l)} \quad кГ/см^2. \tag{6}$$

Формулами (5) и (6) можно пользоваться при известных значениях длины контактной линии $2l$, соответствующих прогибу f_0.

Давления, рассчитанные по формуле (6), превышают значения средних давлений в стыке (см. табл. 1).

Таблица 1

Нагрузка, кГ	Среднее давление $P_{ср}$, кГ/см²	Максимальные давления P_0 кГ/см² при толщине бруса δ мм						
		10	15	20	30	40	50	60
125	1,92	10,2	7,2	6,2	4,6	4,0	3,8	3,7
250	3,85	23,3	16,8	14,7	11,1	9,7	9,3	9,2
375	5,76	37,1	27,3	23,8	18,4	16,0	15,6	15,2
500	7,68	51,7	38,2	33,5	26,0	22,8	22,0	21,7
625	9,60	65,7	49,3	43,2	33,7	29,5	28,6	28,1

На основании формул (3), (4) и (6) можно записать:

$$\lambda = \frac{2l}{K} = \frac{3}{2}\cdot\frac{EI_1}{(0{,}315 + 0{,}825\, I_1)\, 10^4}. \tag{7}$$

Здесь величина $\lambda = \frac{2l}{K}$ по существу является коэффициентом контактной жесткости стыка. Формула (7) показывает, что при определенной толщине бруса λ величина постоянная, равная 3/2 тангенса угла наклона графика $P_1 - f_0$ (рис. 3).

В табл. 2 величины λ, вычисленные по формуле (7), сопоставлены с экспериментальными данными.

Таблица 2

Толщина бруса δ мм	Момент инерции I_1 см⁴	Коэффициент контактной жесткости стыка кГ/мк см	
		экспериментальная величина $\lambda = \frac{3}{2}\frac{P_1}{f_0}$	λ по формуле (7)
10	0,0833	84,3	—
15	0,280	110,0	—
20	0,667	123,0	—
30	2,25	153,0	155,0
40	5,33	171,0	170,0
50	10,40	176,0	176,0
60	18,00	178,0	178,0
80	42,67	—	180,0
100	83,30	—	181,0
∞	∞	—	181,8

Для определения k при $l_1 = 2{,}25$ *см*^{4} следует пользоваться графиком $l_1 - k$. Значения коэффициента контактной податливости были определены по данным опытов из соотношений $K = \frac{2l}{k}$ или $K = \frac{f_0}{p_0}$ и уточнены по графику $K - p_0$ (рис. 4). Длины же контактных линий

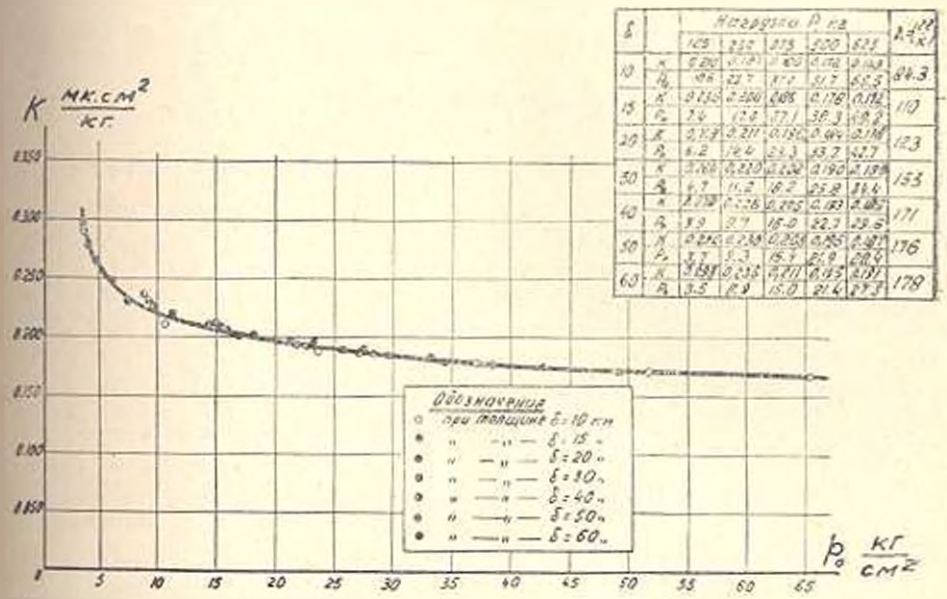

Рис. 1. Зависимость коэффициента контактной податливости от максимального давления

окончательно скорректированы по исправленным значениям K. Такие уточнения, как следует из графика $K - p_0$, не внесли существенных изменений в полученные результаты опытов.

Кривая $K - p_0$ не отличается по характеру от аналогичных кривых, приведенных в трудах ЭНИМС [1, 5]. Однако имеются замет-

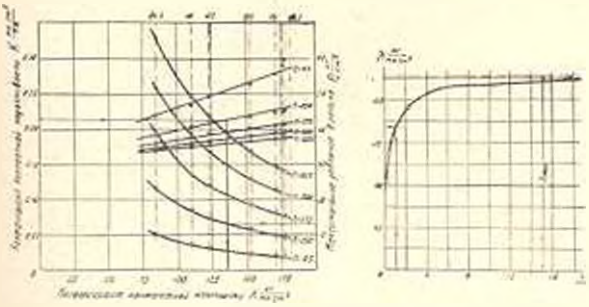

Рис. 5. Номограмма для определения K и p_0

ные отличия в величинах коэффициентов контактной податливости. Это объясняется тем, что в [1, 5] графики построены по средним значениям давлений в стыке, а у нас — по максимальным.

В результате обработки экспериментальных данных получена номограмма, представленная на рис. 5. По этой номограмме с достаточной точностью по заданной толщине бруса δ и нагрузке P, можно определить величину коэффициента контактной податливости K и максимальное давление p_0. Далее можно определить p_x, f_0, f_x и $2l$ по формулам (4), (5) и (7).

Ереванский политехнический институт
им. К. Маркса

Поступило 29.XI.1966.

Գ. Ս. ՋԵՆԴԵՐԵՋՅԱՆ

ՏԵՂԱՓՈԽՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԵՎ ՃՆՇՈՒՄՆԵՐԻ ՈՐՈՇՈՒՄԸ ՀԱՐԹ ՈՒՂՂՈՐԴԻՉՆԵՐՈՒՄ

Ա մ փ ո փ ո ւ մ

Հոդվածում, ելնելով փորձարկման արդյունքներից, դիտվում են էլեմենտների ծռմանային կոշտությունների ազդեցությունը ճնշման բաշխման պատկերի վրա հարթ կցվանքում:

Բերված են գրաֆիկներ և կոնտակտային ենթարկելիության գործակցի արժեքները, առավելագույն ճնշումների մեծությունները և կոնտակտային գծի երկարությունները կապող նոմոգրամմա՝ կախված կոշտությունից և գործող ուժից: Փորձերի տվյալների մշակումից ստացված են նաև մի քանի հաշվարկային բանաձևեր:

Փորձերի արդյունքները և դրանց մաթեմատիկական մշակումը հանգեցրել են ճնշման և տեղափոխման բացահայտ օրինաչափությունների՝ ընկրկելի կցվանքի կենտրոնական բեռնվածության դեպքում:

Ստացված արդյունքները հաստատում են, որ կցվանքը կազմող էլեմենտների սեփական դեֆորմացիաները էապես ազդում են կցվանքում ճնշման բաշխման պատկերի վրա: Առավելագույն ճնշումները, փորձերի սահմաններում, կախված կցվանքը կազմող էլեմենտների կոշտություններից, 2—8 անգամ մեծ են միջին ճնշումներից:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. *Каминская В. В., Левина З. М., Решетов Д. Н.* Станины и корпусные детали металлорежущих станков, М., 1960.
2. *Проников А. С.* Расчет и конструирование металлорежущих станков, М., 1962.
3. *Решетов Д. Н.* Расчет деталей станков, М., 1945.
4. *Джендереджян Г. С.* К вопросу определения истинных давлений на прямолинейных направляющих станках. Сборник научных трудов ЕрПИ, 22, вып. 1, 1963.
5. *Решетов Д. Н.* (под редакцией). Расчет контактных деформаций и отгибов направляющих. Установление форм направляющих из условия жесткости. М., 1963.