

Проектирование модульных инструментальных наладок с устройствами для предохранения инструмента от поломок

А. Р. Маслов, Е. Г. Тивирев

Дано описание конструкций модульных инструментальных наладок с устройствами, предупреждающими поломку инструмента от моментов сил резания, превышающих предельно допустимые, определяемые крутильной прочностью инструмента. Приведены расчетные зависимости параметров кулачковых и шариковых муфт устройств от величин крутящих моментов, осевых сил, размеров крепежной части инструмента и величин осевых перемещений инструмента с учетом их долговечности.

Ключевые слова:

модульные инструментальные наладки, предупреждение поломки инструмента, расчетные зависимости

УДК 621.9.02 | ВАК 2.5.5

DOI: 10.22184/2499-9407.2022.29.4.30.37

Введение

Выполненные исследования [1, 2] показывают, что для крепления режущего инструмента можно использовать модульные инструментальные наладки (МИН), собранные на базе цилиндрического соединения с односторонним прижимом винтами (рис. 1, табл. 1).

Сменные наладки закрепляются в цилиндрическом отверстии диаметром d путем их одностороннего прижима винтами 1 и 2 в передней части 4 державок с хвостовиком 3 для закрепления в шпинделях станков (рис. 2).

Державки и сменные наладки, включающие переходники и вставки, формируют систему МИН. На рис. 3 приведена схема сборки МИН этой системы для крепления в шпинделе 1 станка.

Державки 2 служат для базирования и закрепления следующих сменных наладок:

- патронов для метчиков (3);
- расточных оправок (4);
- оправок для дисковых фрез;
- расточных патронов (6).

Экономический эффект внедрения такой системы у потребителя достигается за счет ускорения инструментообеспечения при переходе на изготовление новых деталей.

В процессе длительной эксплуатации оснащаемого оборудования с увеличением количества типов обрабатываемых деталей указанная система МИН позволяет расширить номенклатуру и количество сменных наладок с меньшими

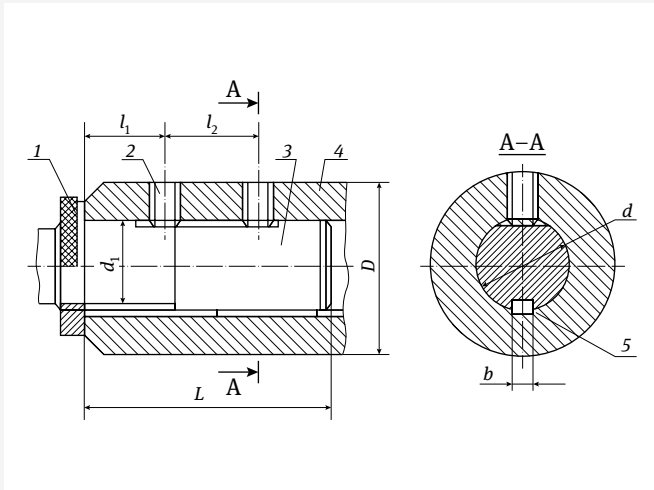


Рис. 1. Цилиндрическое соединение с односторонним прижимом винтами: 1 – регулировочная гайка; 2 – прижимной винт; 3 – унифицированный хвостовик сменных наладок; 4 – передняя часть державки; 5 – шпонка

Таблица 1. Размеры цилиндрического соединения (см. рис. 1)

d , H6/g5	$d_{1\text{ТРАП}}$	D	l	l_1	l_2	b , с11/H9
36	36 × 3	63	106	20	30	8
48	48 × 3	80	126		37	10

затратами. Например, при освоении производства 5-й детали на участке из 4-х станков с ЧПУ, прирост количества МИН составляет 26% от количества, необходимого для начала выпуска первой детали [3].

Проектирование МИН, предупреждающих поломки метчиков

Предупреждение поломок режущего инструмента при превышении сил резания $M_{\text{кр.п.}}$ над моментом $M_{\text{лом.}}$, при котором происходит разрушение, осуществляется в приспособлениях, имеющих встроенный механизм регулировки передаваемого крутящего момента, что позволяет предохранить режущий инструмент от поломки и обрабатывать детали из материалов с различными механическими свойствами.

Основной характеристикой рассматриваемых МИН является [4, 5] предохранение инструмента от поломок при росте момента $M_{\text{кр.п.}}$ сил резания и его приближения к величине момента $M_{\text{лом.}}$, при котором происходит разрушение инструмента.

Особенно важной эта характеристика является при нарезании резьб метчиками с размерами до М16.

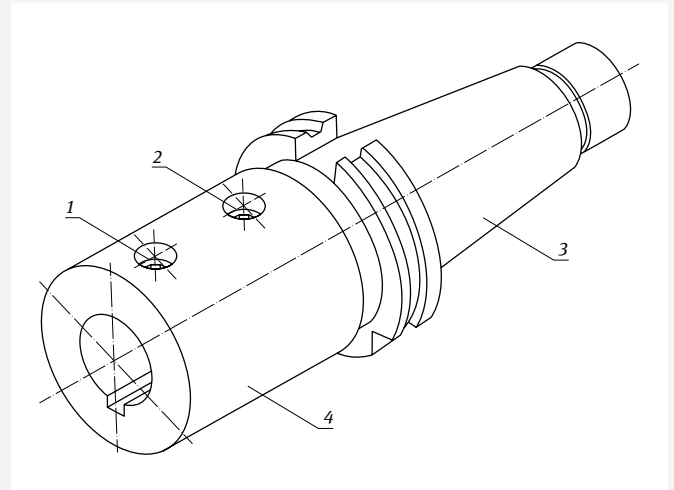


Рис. 2. Державка для закрепления сменных наладок

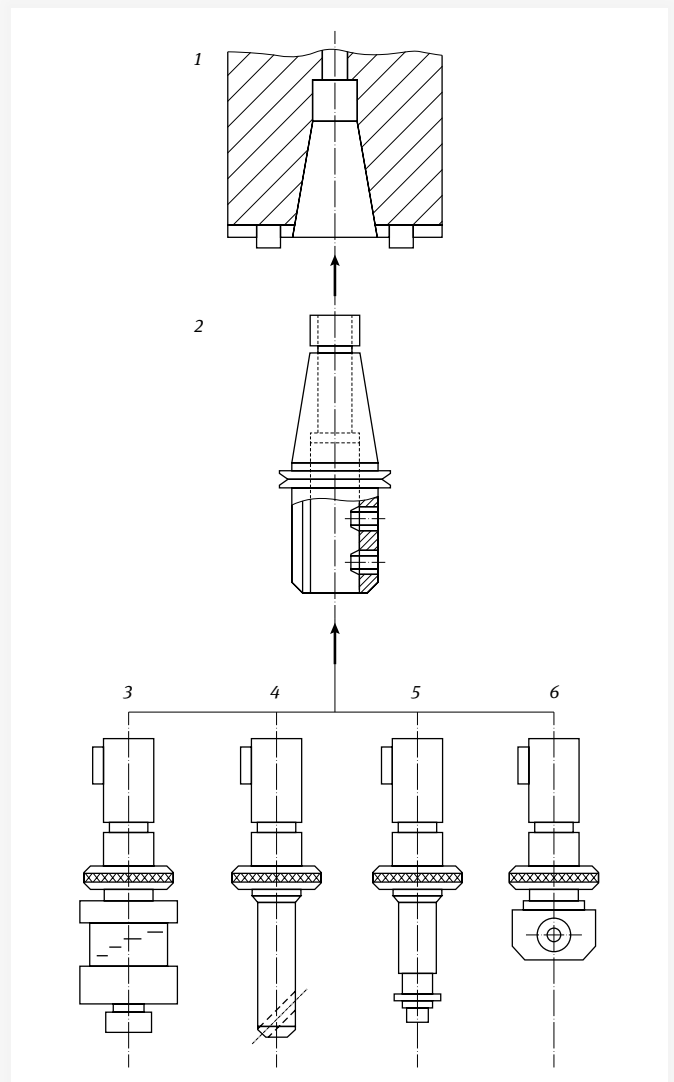


Рис. 3. Схема сборки системы МИН

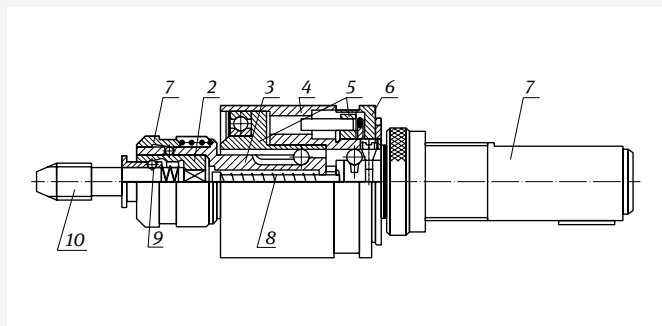


Рис. 4. Сменная наладка с устройством предохранения метчиков от поломок

На рис. 4 показана конструкция сменной наладки (см. поз. 3 на рис. 3) с предохранительным устройством от поломок метчиков М6...М16, предназначенная в сборе с державкой (рис. 2) для нарезания резьбы машинными метчиками в сквозных и глухих отверстиях.

Наладка состоит из корпуса 4, сменного хвостовика 7, предохранительной шариковой муфты 5, выдвигного метчикодержателя 3, быстросменных вставок 2 для метчиков 10. Величина крутящего момента регулируется гайкой 6. Метчикодержатель возвращается в исходное положение после нарезания резьбы и выхода метчика 10 из нарезанного отверстия с помощью пружины 8. Нарезание резьбы происходит путем самозатягивания метчика, благодаря осевой компенсации за счет выдвигания метчикодержателя. Замена вставки 2 производится нажатием на втулку 1 до смещения ее канавки с шариком 9.

Направляющие механизма осевой компенсации могут быть двух типов: качения и скольжения. Направляющие скольжения применяют при обработке резьбы метчиками при незначительном смещении осей предварительно обработанных отверстий, которое компенсируется радиальными зазорами в соединениях сменной наладки.

В остальных случаях в механизмах осевой компенсации применяют направляющие качения (см. сменную наладку на рис. 4).

Минимальная длина направляющих качения рассчитывается из условия [6]:

$$l_n \geq \frac{1,2\Delta_n \cdot l_b}{\sqrt{(2|\Delta_{cm}| - \Delta_{lmin})^2 - 144\Delta_0^2}}, \quad (1)$$

где l_n – расстояние между крайними положениями шариков направляющих качения; Δ_n – величина зазора в направляющих; Δ_n – суммарный люфт от зазоров в соединениях патрона (без учета Δ_n), приведенный к вершине инструмента на вылете l_b от передней опоры направляющей; Δ_0 – допуск биения, приведенный к вершине инструмента, от погрешностей относительного положения поверхностей

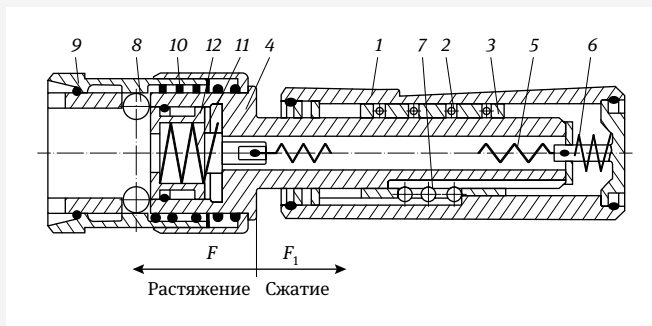


Рис. 5. Сменная наладка с быстросменным креплением сменной вставки, предназначенной для предупреждения поломок метчиков

в деталях патрона и усилий закрепления; $|\Delta_{cm}|$ – предельно допустимое смещение вершины метчика от оси шпинделя, $\Delta_{cm} = 0,3-0,8$ мм для резьбы М3...М30, зависящее от шага резьбы S ; $\Delta_{lmin} = \Delta_{cm0} + 2\Delta_0$ – минимальный зазор, приведенный к вершине метчика, где Δ_{cm0} – наибольшее радиальное смещение оси отверстия под резьбу относительно шпинделя.

Для направляющих качения радиусы r_k канавок:

$$r_k \geq \frac{1,4M_{кр.р.макс} (1-\mu^2)}{E \cdot d_{ш}^2 \cdot h_k \cos \alpha_{ш} \sqrt{\left[3,4 \frac{|\delta_k|^2}{E^2} (1-\epsilon^2)^{\frac{2}{3}} + 3,1 \cdot 10^{-4} \right]^3}}, \quad (2)$$

где $M_{кр.р.макс}$ – наибольший крутящий момент, передаваемый устройством; $d_{ш}$ – диаметр шариков; $\alpha_{ш}$ – угол контакта шариков с направляющими; δ_k – допустимое контактное напряжение; ϵ – коэффициент Пуассона, $\epsilon = 0,3$; E – модуль упругости; h_k – число канавок.

На рис. 5 приведена конструкция сменной наладки, которая состоит из корпуса 1, в отверстии которого на шариках 2, установленных в сепараторе 3, перемещается в пределах хода 6–20 мм пиноль 4, находящаяся в исходном положении под действием пружин 5 и 6.

В сменной наладке имеется возможность осевых перемещений на растяжение F и сжатие F_1 , обеспечивающих компенсацию разности между величиной подачи станка и шагом нарезаемой резьбы. Вращение от корпуса 1 к пиноли 4 передается шариками 7.

Для замены сменной вставки необходимо переместить втулку 9 вдоль оси по пиноли 4, при этом упор 12 под действием пружины 11 выталкивает вставку, а шарики 8 из отверстия пиноли 4 утапливаются в кольцевой канавке втулки 9, освобождая пространство для последующей установки другой сменной вставки.

Осевая компенсация сжатия F_1 предотвращает разрушение деталей патрона, при ходе метчика навстречу патрону.

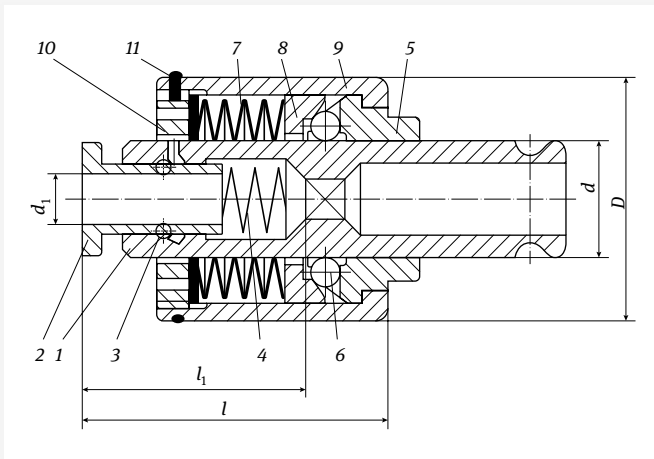


Рис. 6. Сменная вставка, предназначенная для предупреждения поломок метчиков

Величина хода компенсации F_1 сжатия зависит от максимального размера нарезаемой патроном резьбы d_p и разности ΔS подачи станка и шага резьбы:

$$F_1 \geq 1,5d_p - \frac{1,5d_p}{S} \Delta S. \quad (3)$$

Осевая компенсация растяжения F предотвращает разрушение деталей патрона при ходе метчика из патрона. Пружина механизма должна уравновешивать в исходном положении патрона вес деталей, включая метчик, имеющих перемещение относительно корпуса патрона.

Ход компенсации растяжения:

$$F \geq \frac{1,5d_p}{S} \Delta S. \quad (4)$$

Так разность ΔS неодинаково влияет на величины F_1 и F . Это влияние заранее неизвестно, для исключения поломок патрона ΔS в формуле (3) принимается минимальной, а в формуле (4) – максимально возможной для каждого d_p . Из найденных F_1 и F_2 выбираются наибольшие значения.

На рис. 6 приведена конструкция сменной вставки, предназначенной для предупреждения поломок метчиков.

Метчик устанавливается в квадратное отверстие корпуса 1 и втулку 2. Зажим метчика осуществляется шариками 3 при перемещении втулки 2 пружиной 4. Крутящий момент $M_{кр.р.}$ сил резания к корпусу 1 передается поводком 5 через шарики 6, прижатые пружинами 7 и чашкой 8 в лунки корпуса. Регулировка крутящего момента M_0 обеспечивается изменением величин деформации тарельчатых пружин 7 путем вращения гайки 10 ключом для регулировки крутящего момента, гайка после этого обязательно должна быть зафиксирована замковым кольцом 11 в кожухе 9.

Ответственным узлом сменных вставок является шариковая муфта. При достижении момента сил резания $M_{кр.р.}$

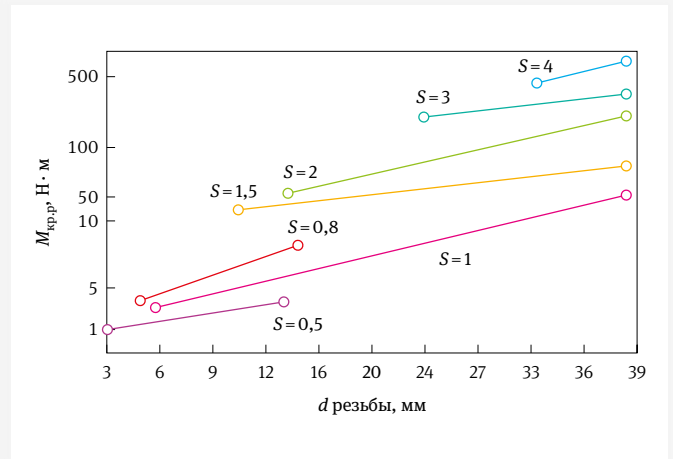


Рис. 7. Моменты сил резания при нарезании резьбы метчиками

больше, чем момент M_0 , на который настроено предохранительное устройство, поводок расцепляется с корпусом и происходит его остановка. Величина M_0 определяется по формуле:

$$M_0 = K_M \cdot f_0 \cdot M_{кр.р.}, \quad (5)$$

где $f_0 = 1,25 \dots 1,4$ в зависимости от диаметра резьбы; K_M – поправочный коэффициент, в зависимости от обрабатываемого материала.

Значения $M_{кр.р.}$ приведены на рис. 7, K_M – в табл. 2.

При достижении момента сил $M_{кр.р.}$ резания больше, чем момент M_0 , на который настроено предохранительное устройство, происходит остановка корпуса 1 вследствие проворачивания поводка 5 и выжимания шариков 6

Таблица 2. Значения поправочных коэффициентов в зависимости от обрабатываемого материала

Материал	Коэффициент
Сталь углеродистая 30, 40 и 45: – нормализованная – улучшенная	1 1,25
Сталь углеродистая А11	0,85
Сталь легированная: – нормализованная – улучшенная	1,1 1,3
Чугун серый, бронза	0,75
Латунь	0,55
Алюминиевые сплавы	0,4

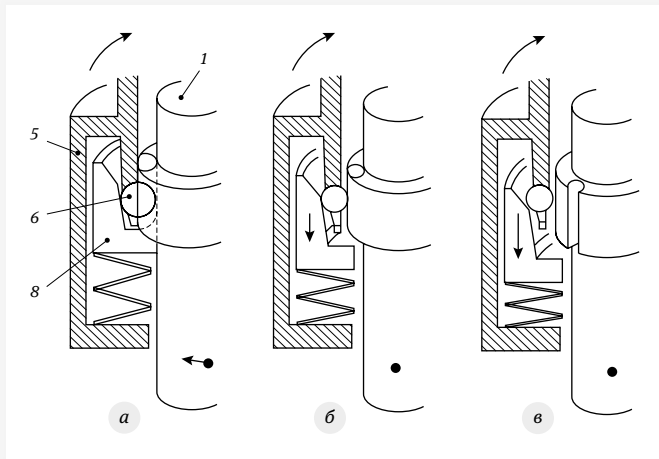


Рис. 8. Последовательность работы шариковой муфты при моменте сил резания $M_{кр.п.}$: *а* – меньше, чем настроечный момент M_0 ; *б* – больше, чем настроечный момент M_0 ; *в* – остановка вращения корпуса *1* (обозначения см. на рис. 6)

из лунок корпуса. Последовательность работы шариковой муфты показана на рис. 8.

Основными конструктивными параметрами, определяющими функцию шариковой муфты, являются:

- R_0 – радиус расположения центров шариков;
- $d_{ш}$ – диаметр шариков;
- $n_{ш}$ – их количество;
- $\alpha_ч$ – угол контакта шариков *б* с чашкой *8*;
- $\alpha_к$ – угол контакта шариков *б* с корпусом *1*.

На рис. 9 представлена расчетная схема шариковой муфты.

Эти конструктивные параметры необходимо увязывать с исходными данными: максимальный диаметр нарезаемой резьбы и предельные габариты.

Искомые параметры определяются из следующих уравнений (см. рис. 9):

$$\sin \alpha_к - 2 \cdot f_к \cdot \cos \alpha_к - f_к^2 \cdot \sin \alpha_к = 0, \quad (6)$$

$$\alpha_ч = \arcsin \frac{2f_ч}{1 + f_ч^2}, \quad (7)$$

где $f_к$ и $f_ч$ – коэффициенты трения при контакте с корпусом и чашкой соответственно.

С целью уменьшения износа рабочих поверхностей, необходимо создать условия качения шариков с допустимыми касательными напряжениями, исключающие скольжение (см. врез).

Важной характеристикой сменных вставок, предназначенных для предупреждения поломок метчиков, является сохранение настроенного M_0 в течение заданного количества циклов нарезания резьбы (например, 1000 циклов).

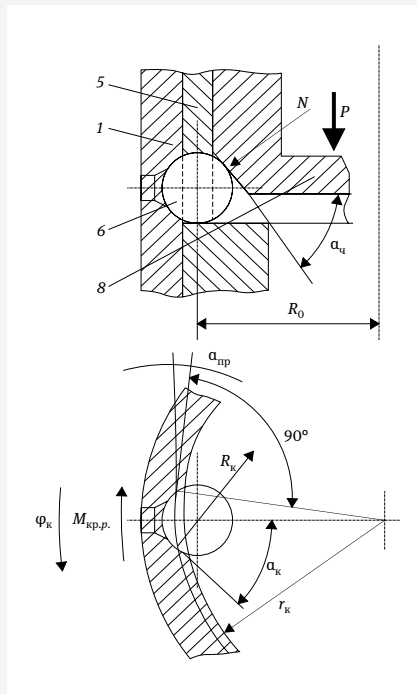


Рис. 9. Схема расчета шариковой муфты (обозначения см. на рис. 6)

Сменные ставки, закрепляемые в сменных наладках, имеют несколько типоразмеров и применяются для нарезания резьбы метчиками различных исполнений. Размеры предохранительных головок приведены в табл. 3. Данные для регулировки крутящих моментов M_0 приведены в табл. 4.

При определении настраиваемого крутящего момента M_0 необходимо учитывать, что он должен быть больше момента сил резания $M_{рез}$, но меньше момента $M_{п.}$, при котором

Таблица 3. Сменные предохранительные головки (см. рис. 6), мм

Диаметр резьбы	D	d	d_1	l	l_1	Квадрат метчика
M3	38	19	3,15	41	20,2	2,5
M4			4,0			3,15
M5			5,0			4,0
M6			6,3			5,0
M8			8,0			6,3
M10			10,0			8,0
M12	58	32	9,0	61	34,0	7,1
M14			11,2			9,0
M16			12,5			10,0
M18–M20			14,0			11,2
						39,0

Условия качения шариков с допускаемыми касательными напряжениями, исключающие скольжение

В этом случае необходимое условие:

$$f_k > (\cos \alpha_k + f_k \cdot \sin \alpha_k) f_n, \quad (8)$$

где f_n – коэффициент трения в точке контакта шарика 6 с поводком 5.

В начале срабатывания устройства, когда $\varphi_k = 0$, радиус расположения центров шариков R_0 :

$$R_0 = \frac{M_0}{n_{ш} \cdot r \left[\cos(\alpha_{k_0} + \alpha_{np_0}) + \frac{\cos \alpha_{k_0} \cdot f_n \cdot \sin(\alpha_{k_0} + \alpha_{np_0})}{1 - f_n \cdot \sin \alpha_{k_0}} \right]}. \quad (9)$$

А усилие P сжатия пакета тарельчатых пружин:

$$P = \frac{M_0 (\cos \alpha_{ч} - f_{ч} \cdot \sin \alpha_{ч}) \left[\sin \alpha_{к_0} - f_n (1 - \cos \alpha_{к_0}) \right]}{r_{к_0} \left[\sin \alpha_{ч} (1 - f_n \cdot f_{ч}) + \cos \alpha_{ч} (f_n + f_{ч}) \right] \cdot \left[\cos(\alpha_{к_0} + \alpha_{np_0}) (1 - f_n \cdot \sin \alpha_{к_0}) + f_n \cos \alpha_{к_0} \sin(\alpha_{к_0} + \alpha_{np_0}) \right]}, \quad (10)$$

реакция на рабочей поверхности чашки:

$$N = \frac{P + J_{т} + \Delta l}{n_{ш} (\cos \alpha_{ч} - f_{ч} \sin \alpha_{ч})}, \quad (11)$$

где $J_{т}$ – жесткость пакета тарельчатых пружин; Δl – величина сжатия пакета.

Передаваемый предохранительным устройством крутящий момент M_0 :

$$M_0 = \frac{r (P + C \cdot \Delta l \left[\sin \alpha_{ч} (1 - f_n f_{ч}) + \cos \alpha_{ч} (f_n + f_{ч}) \right])}{(\cos \alpha_{ч} - f_{ч} \sin \alpha_{ч}) \left[\sin \alpha_{к_0} - f_n (1 + \cos \alpha_{к_0}) \right]} \cdot \left[\cos(\alpha_{к_0} + \alpha_{np_0}) (1 - f_n \sin \alpha_{к_0}) + f_n \cos \alpha_{к_0} \sin(\alpha_{к_0} + \alpha_{np_0}) \right]. \quad (12)$$

Радиус R_0 расположения центров шариков и их количество $n_{ш}$ из соотношений:

$$R_0 = \frac{M_0}{n_{ш} \cdot [R_{к_0}] \left[\cos(\alpha_{к_0} + \alpha_{np_0}) + \sin(\alpha_{к_0} + \alpha_{np_0}) f_k \right]}, \quad (13)$$

где $R_{к_0}$ – допускаемая сила сжатия шариков при контакте с корпусом:

$$R_{к_0} = 0,7 \frac{d_{ш}^2 E}{1 - \varepsilon^2} \sqrt{\left[3,4 \frac{[\delta_{к_0}]^2}{E^2} \cdot (1 - \varepsilon^2)^{\frac{2}{3}} + 3,1 \cdot 10^{-4} \right]^3} \quad (14)$$

где обозначения – см. формулу (2), численные коэффициенты из [6].

возникает поломка метчика. Обычно настраивают на величину крутящего момента M_0 , превышающую момент сил резания $M_{кр.р.}$ на 15–40% в зависимости от диаметра резьбы, что отражено в табл. 4.

Разработаны и применяются конструкции сменных вставок, предназначенных для предупреждения поломок метчиков, в которых вместо осевых пружин используют упругие элементы из полиуретана СКУ-7 с модулем упругости 1200–1500 Н/см² (рис. 10).

Сменная вставка состоит из корпуса 4 и предохранительного устройства, которое состоит из сепаратора 5, сухаря 6 со шпонками В, шариков 7, упругого элемента 8 из полиуретана СКУ-7.

Крутящий момент M_0 , при котором срабатывает предохранительное устройство, регулируется пробкой 10, которая фиксируется винтом 9 от самоотвинчивания в процессе работы.

В корпусе 4 вставки смонтировано замковое устройство для крепления метчиков, состоящее из замка 1, шариков 2 и пружин 3.

Выводы и рекомендации

1. Для обеспечения хорошего качества нарезания резьбы метчиками необходимо осуществить ряд мероприятий, связанных с геометрией и качеством заточки инструмента, с выбором режима резания и подбором смазывающе-охлаждающих технологических средств в зависимости

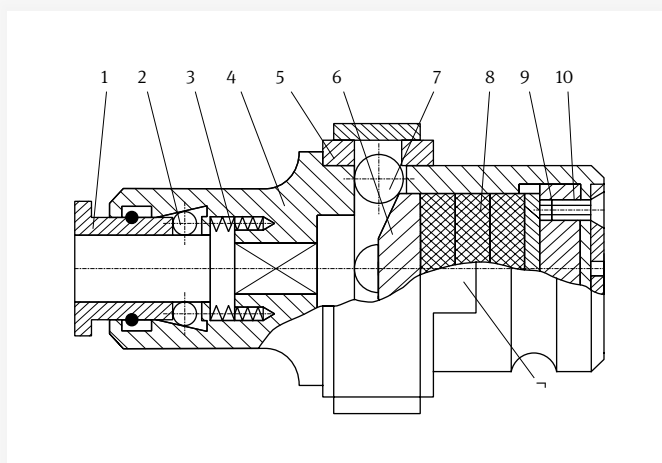


Рис. 10. Сменная вставка с упругими элементами из полиуретана

Таблица 4. Настраиваемый крутящий момент предохранительных головок

d	M_0 , н·м при шаге резьбы, мм									ΔM_0 , %
	0,5	0,7	0,8	1	1,25	1,5	1,75	2	2,5	
3	1,2	–	–	–	–	–	–	–	–	+15
4	–	1,3	–	–	–	–	–	–	–	
5	1,4	–	2	–	–	–	–	–	–	+25
6	1,7	–	3,2	4	–	–	–	–	–	
8	2,6	–	4,5	5,2	8	–	–	–	–	
10	2,7	–	4,8	6,6	11	15	–	–	–	+30
12	3,6	–	6,4	8	13,2	17,4	24	–	–	
14	4,2	–	7,8	9,2	–	20	–	36	–	
16	–	–	–	10,6	–	24	–	42	–	
18	–	–	–	12	–	26	–	47	73	+40
20	–	–	–	13,2	–	29	–	52	81	

Примечания: d – диаметр нарезаемой резьбы, мм; ΔM_0 – допускаемое отклонение крутящего момента, %.

от материала обрабатываемой детали. Большое значение имеет также правильный выбор приспособлений для закрепления метчиков.

- Практика эксплуатации метчиков показывает, что основными причинами появления брака при нарезании ими резьбы являются биение шпинделя станка, а также отсутствие свободного перемещения инструмента в осевом направлении.
- Применяют два способа нарезания резьбы на станках: способ самозатягивания без принудительной подачи инструмента; способ копирования с принудительной подачей.
- На крупных станках в тех случаях, когда подача шпинделя не равна шагу нарезаемой резьбы, применяют сменные наладки, обеспечивающие возможность осевого перемещения метчика, независимого от перемещения шпинделя.
- В сменных наладках используют сменные вставки с предохранительными шариковыми муфтами, предохраняющие метчики от поломки под действием момента, превышающего величину крутящего момента, допускаемого прочностью метчика. Это позволяет автоматически прекращать осевую подачу, если момент сил резания превысит величину заданного настроечного крутящего момента при нарезании резьбы в глухих отверстиях, износе режущей части метчика, защемлении его стружкой и т. п.

6. В тех случаях, когда ось отверстия после предварительной обработки может быть совмещена с осью шпинделя станка в пределах 0,1 мм, применяют жесткое крепление метчика. Если такое совмещение невозможно, например, при обработке на радиально-сверлильных станках, целесообразно применять МИН с самоустанавливающимися («плавающими») сменными вставками.
4. **Маслов А. Р.** Приспособления для металлообрабатывающего инструмента: Справочник / 3-е изд., исправ. и доп. // М.: Машиностроение, 2008. 320 с.
5. **Денисов П. С., Шатин В. П.** Режущий и вспомогательный инструмент. Справочник / 2-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1968. 192 с.
6. **Драгун А. П.** Вспомогательный инструмент для токарно-револьверных станков. Л.: Машиностроение. Ленинградское отделение, 1979. 192 с.

Литература

1. **Маслов А. Р.** Модульные инструментальные наладки // СТАНКОИНСТРУМЕНТ. 2021. № 2(023). С. 86–92.
2. **Маслов А. Р., Тивирев Е. Г.** Технологическая оснастка. Зажимные устройства: учебное пособие // М.: Ай Пи Ар Медиа, 2021. 60 с. Текст: электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS: [сайт]. – URL: <http://www.iprbookshop.ru/102247.html> [Дата обращения – 31.01.2022]
3. **Маслов А. Р.** Инструментальные системы машиностроительных производств // М.: Машиностроение, 2006. 336 с.

Авторы

Маслов Андрей Руффович –

доктор технических наук, профессор кафедры «Инструментальная техника и технологии» ФБГОУ ВО «МГТУ имени Н.Э. Баумана»

Тивирев Евгений Геннадьевич –

кандидат технических наук, начальник УЗиС ФБГОУ ВО «МГТУ имени Н.Э. Баумана»

НОВЫЕ КНИГИ ИЗДАТЕЛЬСТВА «ТЕХНОСФЕРА»



НОВЫЕ МЕХАНИЗМЫ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ И ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Под редакцией В.А. Глазунова, С.В. Хейло

М.: ТЕХНОСФЕРА,
2022. – 244 с.,
ISBN 978-5-94836-647-0

Цена 1090 руб.

Данная монография является третьей в серии, посвященной новым механизмам, предназначенным для перспективных робототехнических и измерительных систем.

Первая книга была посвящена 80-летию Института машиноведения им. А.А. Благонравова РАН (ИМАШ РАН) и содержала работы исследователей, связанных с институтом. Во второй монографии были представлены труды авторов, работающих в различных учебных, научных и промышленных организациях.

Третья монография содержит новые результаты, связанные с синтезом и анализом механизмов, применяемых для перспективных робототехнических и измерительных систем. Рассматриваются вопросы, связанные с характеристиками и функциональными возможностями новых механизмов, применяемых в сельскохозяйственной и сварочной технике, а также в измерительных и диагностических системах.

Круг авторов данной монографии представляет разные организации: ИМАШ РАН, ФНАЦ ВИМ, МГТУ им. Н.Э. Баумана, РГАУ-МСХА, Университет ИТМО, РГУ им. А. Н. Косыгина, ЮЗГУ, научно-производственную компанию «Шторм», НТЦ «Эталон».

Издание предназначено для широкого круга читателей – студентов, аспирантов, инженеров и научных работников, занимающихся вопросами синтеза и анализа механизмов, применяемых в робототехнических системах.

КАК ЗАКАЗАТЬ НАШИ КНИГИ?

✉ 125319, Москва, а/я 91; ☎ +7 495 234-0110; 📠 +7 495 956-3346; knigi@technosphaera.ru, sales@technosphaera.ru