

УДК 621.91.04

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ЗАКРЕПЛЕНИЯ ПЛАСТИН РЕЖУЩИХ И БЛОКОВ РЕЗЦОВЫХ В БЛОЧНО-МОДУЛЬНЫХ РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТАХ

*д-р техн. наук, проф. Н.Н. ПОПОК; А.С. МАКСИМЧУК; С.А. ПОРТЯНКО
(Полоцкий государственный университет)*

Исследуется проблема совершенствования системы закрепления пластин режущих и блоков резцовых в блочно-модульных режущих инструментах. Предложена система закрепления режущей пластины в блочно-модульном режущем инструменте. Рассмотрены расчёты сил зажима режущей пластины и блока резцового. Представлены результаты экспериментальных исследований жёсткости механизмов закрепления, даны рекомендации по совершенствованию системы закрепления.

Введение. Надежность сборных режущих инструментов в большой степени определяется надежностью закрепления режущих пластин в корпусе. Существует множество конструкций зажимных механизмов, учитывающих условия работы режущих инструментов и особенности их изготовления [1; 2]. Наиболее полно существующие системы закрепления режущих пластин представлены в [3–5]. Эти системы отражают современные тенденции в конструировании режущих инструментов: высокая точность изготовления пластин режущих; закрытые и точно изготовленные пазы для их размещения; механизмы зажима пластин режущих с минимальным количеством конструктивных элементов, например, в виде винта или рычага. Реализация таких систем в условиях отечественного инструментального производства не всегда возможна, так как требует при изготовлении специального и точного оборудования, качественных комплектующих элементов. Поэтому актуальным является создание системы закрепления режущих пластин.

Конструктивные схемы закрепления режущих пластин и резцовых блоков. Предложена [6–8] система закрепления режущих пластин в блочно-модульном режущем инструменте (БМРИ) (рис. 1).

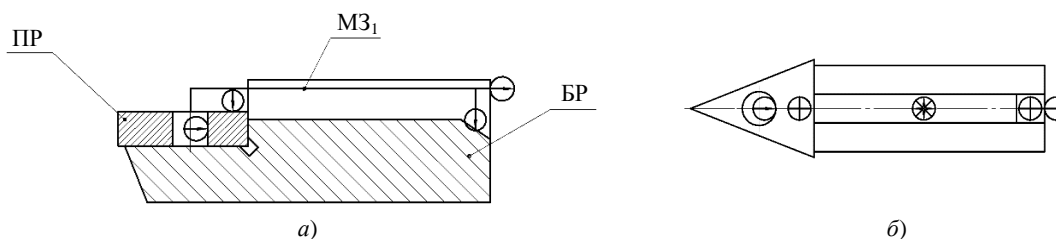


Рис. 1. Схема зажима пластины режущей:
а – главный вид; б – вид сверху;

– направление действия силы зажима ПР соответственно в плоскости чертежа, от нас;
 – направление перемещения вверх, вниз, вправо, влево; – запрет перемещения

Пластина режущая (ПР) в этом инструменте устанавливается в открытый поперечный паз блока резцового (БР). Модуль закрепления (МЗ₁) выполнен в виде «Т-образного» прихвата, «горизонтальная полка» которого одной частью вводится в отверстие ПР и прижимается к её передней поверхности, а другой частью входит в контакт со скосом БР. При этом «горизонтальная полка» прихвата устанавливается по посадке в открытый продольный паз БР. «Вертикальная полка» прихвата выполнена в виде винта, вворачиваемого в «горизонтальную полку» прихвата и устанавливаемого в овальное отверстие БР, а также скоса. При зажиме винта осуществляется одновременное перемещение прихвата в горизонтальном и вертикальном направлениях и прижим ПР по основанию, боковой поверхности и отверстию. Наиболее близким по технической сущности к предложенной системе является крепление типа D по ISO [3]. Однако в отличие от этого типа крепления в предлагаемой системе пазы выполнены открытыми, причём базируются пластина режущая и прихват. Надёжность закрепления ПР обеспечивается исключением перемещений ПР в радиальном, осевом и тангенциальном направлениях по отношению к обрабатываемой поверхности детали в процессе резания.

Система закрепления БР в модуле корпусном (МК) (рис. 2) также технологична при изготовлении и надёжна в эксплуатации. Блок резцовый устанавливается по цилиндрической поверхности в отверстие МК до упора по торцевой поверхности, где предварительно через другое отверстие в МК введён один из элементов (МЗ₂) – «сухарь». Затем вводится другой «сухарь» и оба «сухаря» стягиваются винтом, обеспечивая тем самым надёжный зажим БР между двумя «сухарями» и исключение перемещений БР во всех направлениях. При этом расположение «сухарей» относительно БР учитывает направление действующих на ПР

сил резания – силы зажима направлены по силам резания, что исключает возникновение зазоров в контактирующих поверхностях «сухарей» и корпуса блока резцового при колебании системы резания.

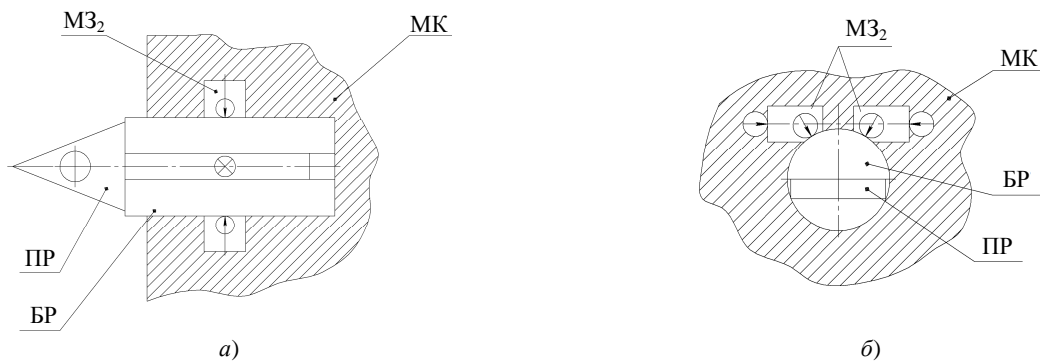


Рис. 2. Схема зажима блока резцового:
а – вид сверху в разрезе; б – поперечное сечение

Учитывая многоэлементность конструкций БМРИ и наличие «стыков» между модулями и блоками, не до конца изученным является вопрос надёжности этих сборных режущих инструментов. Такие показатели надёжности, как ремонтпригодность и сохраняемость, являющиеся для блочно-модульных режущих инструментов довольно высокими, так как унифицированные блоки и модули могут быть заменены в различных типах режущих инструментов. Конструкция БМРИ также является безотказной и долговечной благодаря тому, что может быть произведена своевременная «реновация» вышедших из строя блоков и модулей.

Однако безотказность и долговечность отдельных блоков и модулей в пределах возможного цикла их работы будут определяться точностью изготовления их деталей и жёсткостью сборочных узлов. Жёсткость БМРИ зависит прежде всего от жёсткости закрепления режущей пластины в блоке резцовом и резцового блока в модуле корпусном.

Расчёт сил зажима пластины режущей. Схему закрепления режущей пластины в резцовом блоке можно рассматривать как приспособление, состоящее из рычажного и винтового механизмов (рис. 3).

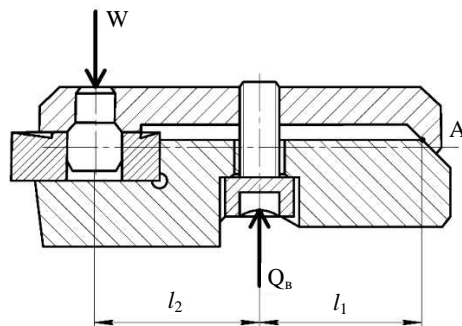


Рис. 3. Расчётная схема рычажного механизма в резцовом блоке

Для рычажного механизма сумма моментов относительно точки A

$$\sum M_A = W(l_1 + l_2) - Q_B \cdot l_1, \quad (1)$$

где W – сила закрепления режущей пластины; l_1 и l_2 – плечи рычажного механизма (принимаем $l_1 = 17,5$ мм, $l_2 = 16,5$ мм, исходя из конструкции резцового блока).

При стандартном ручном зажиме согласно рекомендациям [9; 10] усилие руки не должно превышать $Q_c = 150$ Н. При $l = 0,6$ м, принятом плече зажима винта, момент, приложенный к винту, будет равен

$$M_A = Q_B \cdot l = 90 \text{ Н}\cdot\text{м}. \quad (2)$$

Тогда сила затяжки винта, действующая вдоль резьбы, составит

$$Q_B = \frac{2M_B}{d_b \cdot \text{tg}(\alpha_p + \varphi_{\text{пр}})} = \frac{2 \cdot 90}{5 \text{tg}(4^\circ + 8,5^\circ)} = 16238 \text{ Н}, \quad (3)$$

где d_b – номинальный диаметр резьбы (принимаем для винта М5 $d_b = 0,05$ м); α_p – угол подъёма резьбы ($\alpha_p = 1 \dots 4^\circ$, принимаем $\alpha_p = 4^\circ$); $\varphi_{\text{пр}}$ – приведенный угол трения ($\varphi_{\text{пр}} = 5,75 \dots 8,5^\circ$, принимаем $\varphi_{\text{пр}} = 8,5^\circ$).

Выразив из уравнения моментов (1) силу закрепления режущей пластины с учётом КПД рычажно-го механизма, равного 0,95, получим:

$$W = \frac{Q_b \cdot l_1}{l_1 + l_2} \cdot 0,95 = \frac{16238 \cdot 17,5}{17,5 + 16,5} \cdot 0,95 = 7940 \text{ Н.} \quad (4)$$

Сила резания, действующая на режущую пластину из твёрдого сплава, при точении конструкционной стали рассчитывается по формуле [11]:

$$P_{(z,y,x)} = 10C_p \cdot t^x s^y v^n k_p, \quad (5)$$

где C_p – поправочный коэффициент на обрабатываемый материал, выбираем $C_{pz} = 300$, $C_{py} = 243$, $C_{px} = 339$; x, y, n – показатели степени, выбираем: $x_{pz} = 1$, $y_{pz} = 0,75$, $n_{pz} = -0,15$; $x_{py} = 0,9$, $y_{py} = 0,6$, $n_{py} = -0,3$; $x_{px} = 1$, $y_{px} = 0,5$, $n_{px} = -0,4$; k_p – поправочный коэффициент на условия обработки:

$$k_p = k_{mp} k_{xp} k_{yp} k_{sp} k_{ep}, \quad (6)$$

принимая $k_p = 1$; t, s, v – соответственно глубина резания, подача и скорость резания (принимая $t = 1$ мм, $s = 0,3$ мм/об, $v = 150$ м/мин).

$$\text{Тогда} \quad P_z = 10 \cdot 300 \cdot 1^1 \cdot 0,3^{0,75} \cdot 150^{-0,15} \cdot 1 = 566 \text{ Н;} \quad (7)$$

$$P_y = 10 \cdot 243 \cdot 1^{0,9} \cdot 0,3^{0,6} \cdot 150^{-0,3} \cdot 1 = 270 \text{ Н;} \quad (8)$$

$$P_x = 10 \cdot 339 \cdot 1^1 \cdot 0,3^{0,5} \cdot 150^{-0,4} \cdot 1 = 251 \text{ Н.} \quad (9)$$

Сопоставляя полученные данные по действующим на пластину режущую тангенциальной, радиальной и осевой составляющих силы резания (формулы (7), (8)) с рассчитанным значением силы зажима режущей пластины (формула (4)), можно сделать вывод, что используемая в резцовом блоке конструкция механизма зажима обеспечивает надёжное (с 10...20-кратным превышением силы зажима над силой резания) закрепление режущей пластины.

Расчёт сил зажима блока резцового. Для зажима резцовых блоков в корпусных модулях используются прихватно-винтовой, клино-винтовой и двуклино-винтовой механизмы (рис. 4).

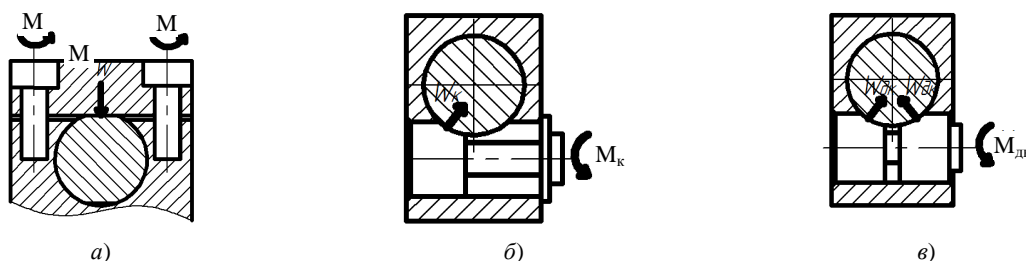


Рис. 4. Механизмы закрепления резцового блока в корпусе:
а – прихватно-винтовой; б – клино-винтовой; в – двуклино-винтовой

Расчёт усилия зажима винтовым механизмом производился по следующим формулам [12; 13]:

- для прихватно-винтового механизма

$$W_{np} = \frac{2M_{np}}{r_{cp} \operatorname{tg}(\alpha_p + \varphi_{np})}; \quad (10)$$

- для клино-винтового механизма

$$W_{кл} = \frac{M_{кл}}{r_{cp} \operatorname{tg}(\alpha_p + \varphi_{np}) \operatorname{tg}(\alpha_{кл} + \varphi_{кл})}; \quad (11)$$

- для двуклино-винтового механизма

$$W_{дк} = \frac{M_{дк}}{r_{cp} \operatorname{tg}(\alpha_p + \varphi_{np}) \operatorname{tg}(\alpha_{кл} + \varphi_{кл})}, \quad (12)$$

где M_{np} , $M_{к}$ и $M_{дк}$ – момент затяжки винта соответственно прихватно-винтовым, клино-винтовым и двуклино-винтовым механизмами, Нм; r_{cp} – средний радиус резьбы (для винта М6 принимаем $r_{cp} = 2,7565$ мм); α_p – угол подъёма резьбы ($\alpha_p = 1...4^\circ$, принимаем $\alpha_p = 4^\circ$); φ_{np} – приведенный угол трения ($\varphi_{np} = 5^\circ 43'...8^\circ 30'$, при-

нимаем $\varphi_b = 8^\circ 30'$); $\alpha_{кл}$ – угол скоса клина (для обеспечения самоторможения $\alpha_{кл} = 11^\circ 23' \dots 17'$, принимаем $\alpha_{кл} = 17'$); $\varphi_{кл}$ – приведенный угол трения клина (принимаем $\varphi_{кл} = 8^\circ$).

Результаты расчётов зажимных механизмов представлены в виде графиков на рисунке 5.

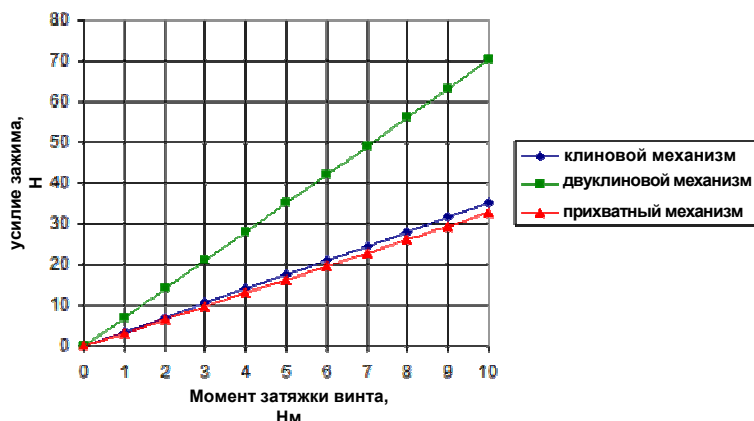


Рис. 5. Зависимость усилия зажима резцового блока от момента затяжки винта

Как видно из графиков, наилучшим зажимным механизмом является двуклиновой, обеспечивающий усилие зажима, равное 70 Н при значении момента затяжки винта, составляющем 10 Н·м. При таком же значении момента затяжки винта клиновой механизм обеспечивает усилие зажима, равное 35 Н, а прихватный – 32,8 Н. Расчет необходимого усилия зажима клиновым механизмом резцового блока исходя из усилия резания показывает следующее [14]:

$$W = \frac{k}{f} \cdot \sin \frac{\alpha_{кл}}{2} \cdot P_z = \frac{1,8}{0,25} \cdot \sin \frac{34^\circ}{2} \cdot 566 = 1182 \text{ Н}, \quad (13)$$

где k – коэффициент запаса ($k = 1,75 \dots 1,9$, принимаем $k = 1,8$); f – коэффициент трения ($f = 0,25$); α – угол скоса клина; P_z – сила резания.

Таким образом, клиновой механизм обеспечивает усилие зажима, примерно в 1,5...2 раза превышающее усилие резания (при условии самоторможения клина).

Экспериментальные исследования жёсткости резцовых блоков. При экспериментальной проверке полученных расчётных данных фиксировались величины перемещений режущей пластины и прихвата в различных точках при различных усилиях зажима винта (рис. 6). В частности, величины перемещений режущей пластины 5 в тангенциальном, радиальном и осевом направлениях измерялись соответственно индикаторами 1, 2, 3, а прихвата 6 – индикатором 4, усилие зажима винта 8 создавалось динамометрическим ключом 9.

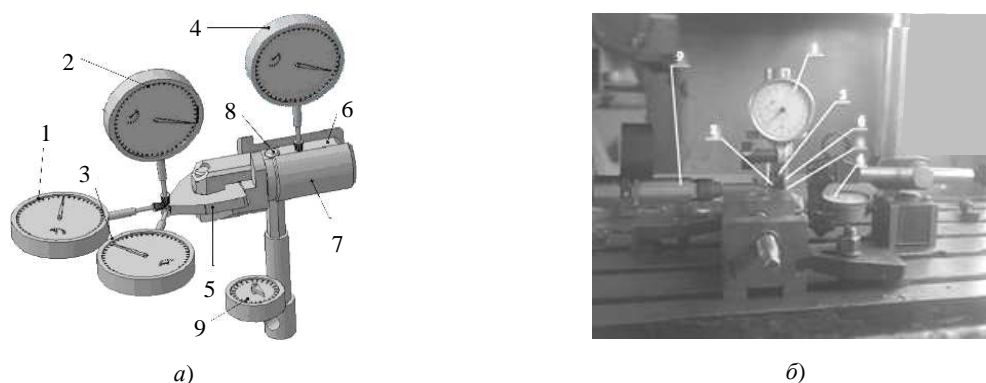


Рис. 6. 3D-модель (а) и экспериментальная установка (б) для измерения перемещений пластины режущей и прихвата: 1, 2, 3, 4 – индикаторы часового типа; 5 – пластина режущая; 6 – прихват; 7 – блок резцовый; 8 – винт зажимной; 9 – динамометрический ключ

Результаты измерений перемещений пластины режущей и прихвата в блоке резцовом представлены в виде графиков на рисунке 7, из которого видно, что величины перемещений пластины режущей незначительные и минимальны в радиальном направлении. При нагрузке, составляющей примерно в 2 Н·м, перемещений не наблюдается, что свидетельствует о выборе зазоров между пластиной, боковыми стенками паза и винтом. Прихват совершает более значительные перемещения по сравнению с пластиной режущей, что требует изменения его конструкции.

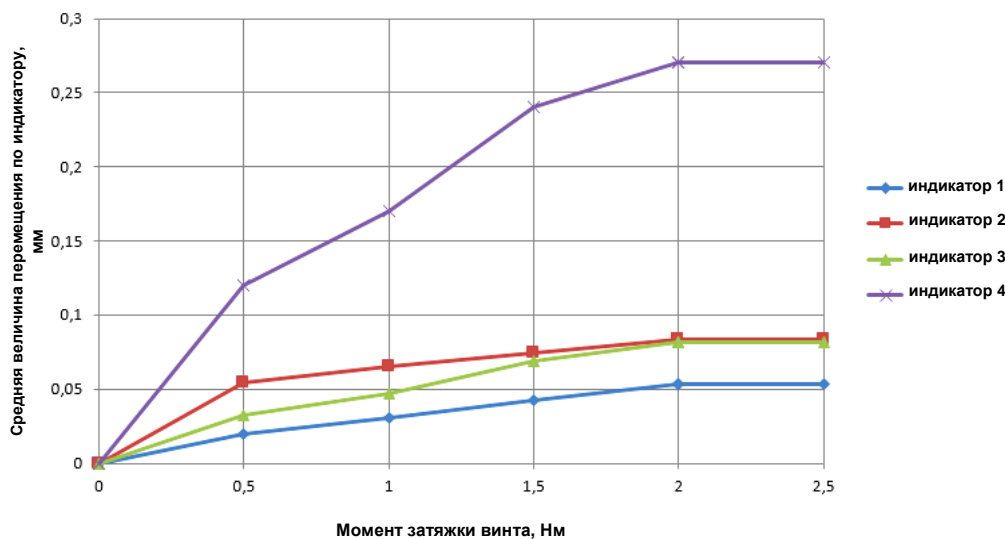


Рис. 7. Зависимость величины перемещений пластины режущей и прихвата в блоке резцовом от величины нагрузки на динамометрическом ключе

С учётом полученных значений перемещений и прикладываемых к винту усилий были произведены расчёты жёсткости конструкции блока резцового как отношение величины зажима к величине перемещения элемента. Результаты экспериментов и расчётов представлены на рисунке 8.

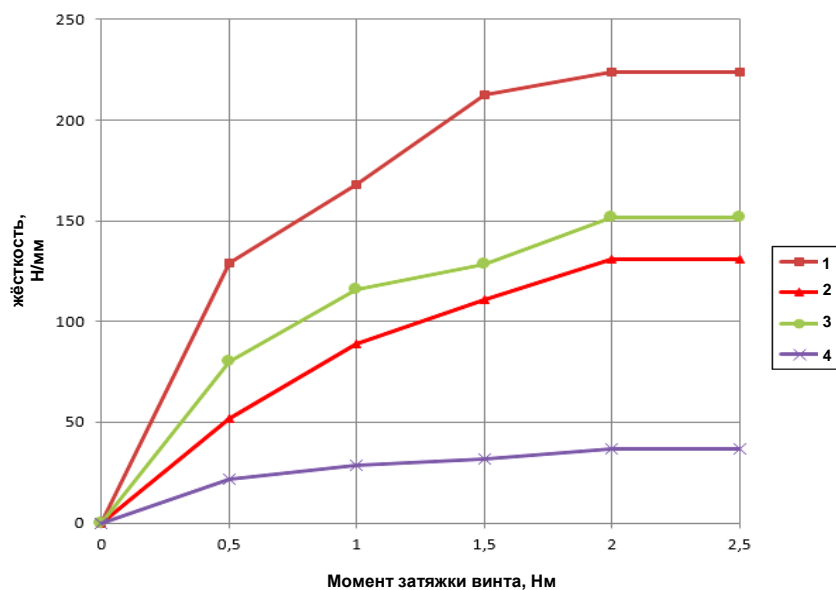


Рис. 8. Зависимость жёсткости элементов конструкции блока резцового от момента затяжки винта: 1, 2 и 3 – режущей пластины соответственно в радиальном, тангенциальном и осевом направлениях; 4 – прихвата

Как видно из графиков, при определённом моменте затяжки винта (в пределах 1...2 Н·м) максимальную жёсткость закрепления имеет пластина режущая, минимальную – прихват.

Надёжность закрепления блока резцового в корпусном модуле экспериментально проверялась при его зажиме прихватным (рис. 9, а), одно- и двуклиновыми (рис. 9, б) механизмами с приложением к блоку определённого момента, имитирующего момент силы резания. В эксперименте последовательно фиксировался момент затяжки и значение приложенного момента, при котором наблюдался проворот («страгивание») блока резцового. Результаты эксперимента представлены в виде графиков на рисунке 10. Из графиков видно, что момент проворота («страгивания») резцового блока в зажимном механизме увеличивается по мере увеличения значения момента затяжки винта зажимного механизма, и при достижении максимального значения момента затяжки смещение резцового блока в механизме зажима не происходит. Причём в двуклиновом механизме надёжное закрепление блока резцового наблюдается при моменте затяжки 5 Н·м, в то время как в клиновом и прихватном – только при 12,5 Н·м и 15 Н·м соответственно.

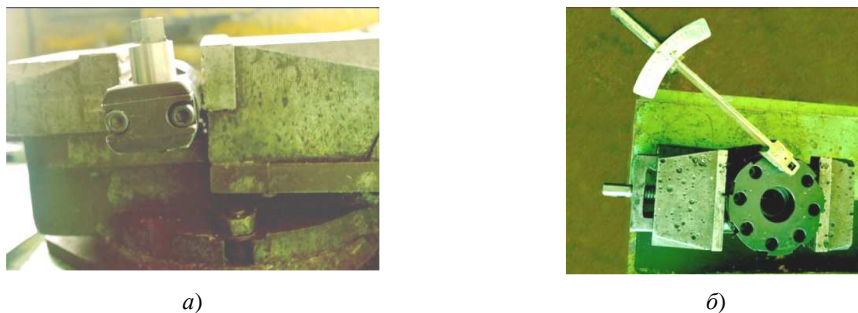


Рис. 9. Экспериментальные установки для исследования зажимных механизмов: *a* – прихватный; *b* – клиновой и двуклиновой

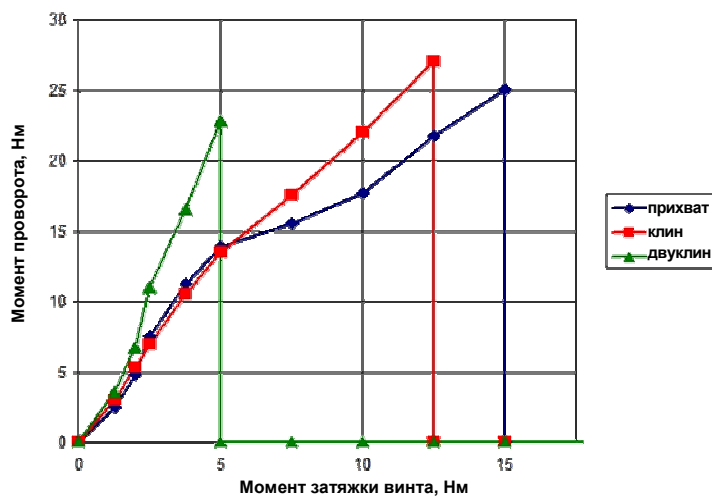


Рис. 10. Зависимость момента проворота блока резцового от момента затяжки винта

Сопоставление расчётных и экспериментальных данных моментов проворота резцовых блоков показывает, что расхождение их значений находится в пределах 15...25 % (рис. 11).

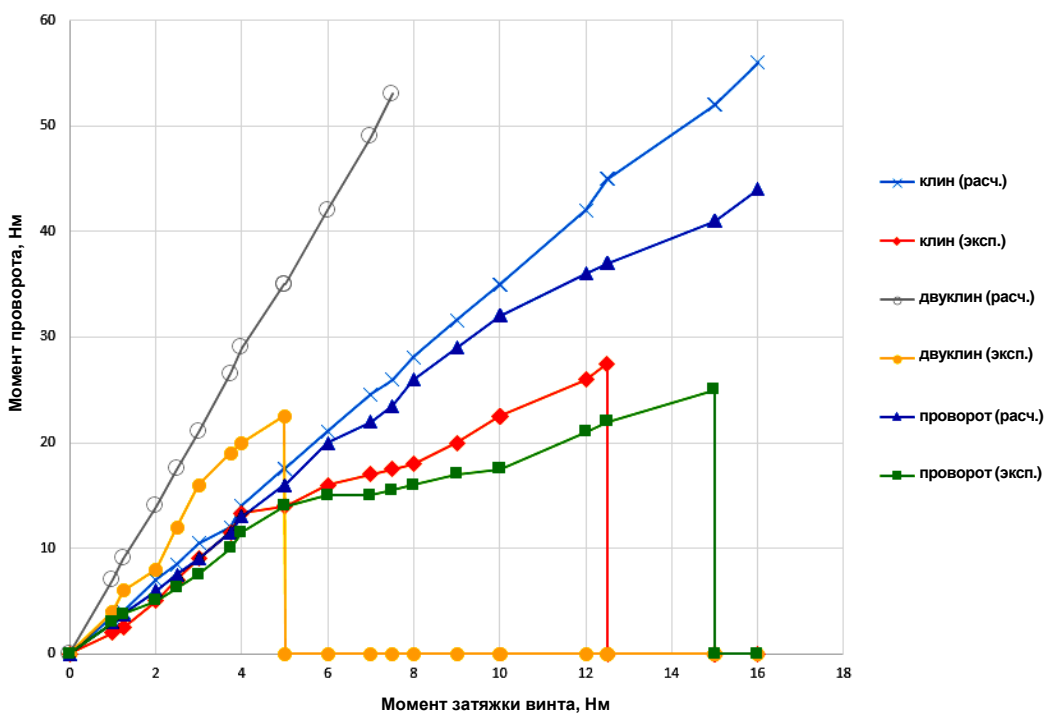


Рис. 11. Сопоставление результатов экспериментальных исследований и расчётных данных моментов проворота резцового блока

Таким образом, расчёты и результаты эксперимента подтверждают работоспособность конструкций блочно-модульных режущих инструментов.

В заключение исследования можно сделать следующие **выводы**:

- выбранные конструктивные параметры механизма зажима режущей пластины обеспечивают надёжное её закрепление при 10...20-кратном превышении силы зажима над силой резания;
- двуклиновой механизм с выбранными параметрами обеспечивает зажим блока с усилием, превышающим усилие резания не менее чем в 1,5 раза;
- из рассмотренных механизмов зажима блока резового наилучшим является двуклиновой механизм, так как по сравнению с клиновым и прихватным механизмами он обеспечивает в 2...3 раза больший момент затяжки;
- результаты расчёта и полученные экспериментальные данные моментов проворота резовых блоков показывают, что расхождения их значений находятся в пределах 15...25 %, что подтверждает достоверность предложенных методик исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. Справочник инструментальщика / И.А. Ординарцев [и др.]; под общ. ред. И.А. Ординарцева. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1987. – 846 с.
2. Сборный твёрдосплавный инструмент / Г.Л. Хаёт [и др.]; под общ. ред. Г.Л. Хаёта. – М.: Машиностроение, 1989. – 256 с.
3. Попок, Н.Н. Анализ тенденций проектирования инструментальных систем. Ч. 1. Термины и система обозначения режущих пластин, державок и модулей // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Серия В. Промышленность. Прикладные науки. – 2012. – № 3. – С. 71–81.
4. Попок, Н.Н. Анализ тенденций проектирования инструментальных систем. Ч. 2. Механизмы крепления // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Серия В. Промышленность. Прикладные науки. – 2012. – № 11. – С. 11–19.
5. Попок, Н.Н. Анализ тенденций проектирования инструментальных систем. Ч. 3. Инструментальные системы для многоцелевой обработки // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Серия В. Промышленность. Прикладные науки. – 2013. – № 3. – С. 19–37.
6. Конструирование и оснащение технологических комплексов / А.М. Русецкий [и др.]; под общ. ред. А.М. Русецкого. – Минск: Беларус. наука, 2014. – 316 с.
7. Способ установки сменной режущей пластины в режущем инструменте: пат. по заявке № а2011025 / Попок Н.Н., Терентьев В.А., Хмельницкий Р.С., Сидикевич А.В., Сопиков И.Я.; заявл. 2011.01.06; выдано 2014.12.12.
8. Режущий инструмент: пат. по заявке № а2011026 / Попок Н.Н., Терентьев В.А., Хмельницкий Р.С., Сидикевич А.В., Сопиков И.Я.; заявл. 2011.01.06; выдано 2014.12.12.
9. Станочные приспособления [Электронный ресурс] // Производство и машиностроение. – Режим доступа: <http://poliformdeta.com/stanochnye-prisposobleniya>. – Дата доступа: 16.07.2014.
10. Приспособления станочные. Требования безопасности: ГОСТ 12.2.029. – Введ. 01.08.1989. – М.: Изд-во стандартов, 1989. – 15 с.
11. Косилова, А.Г. Справочник технолога-машиностроителя: в 2-х т. Т. 2 / под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. – М.: Машиностроение, 1985. – 496 с.
12. Фаскиев, Р.С. Проектирование приспособлений: учеб. пособие / Р.С. Фаскиев, Е.В. Бондаренко. – Оренбург: ГОУ «ОГУ», 2006. – 178 с.
13. Ансеров, М.А. Приспособления для металлорежущих станков / М.А. Ансеров. – Изд. 4-е, исправл. и доп. – Л.: Машиностроение (Ленингр. отд-ние), 1960. – 638 с.
14. Антонюк, В.Е. В помощь молодому конструктору станочных приспособлений / В.Е. Антонюк. – Минск: Беларусь, 1975. – 351 с.

Поступила 29.01.2015

IMPROVING OF FIXING SYSTEM OF CUTTING INSERTS AND CUTTING BLOCKS IN BLOCK-MODULAR CUTTING TOOLS

N. POPOK, A. MAKSIMCHUK, S. PORTYANKO

The problem of improving the system of fixing the cutting plates and blocks in the incisal modular cutting tools is investigated. The system of fixing the cutting insert in modular cutting tool is proposed. The calculations of forces clamp the insert and block incisive are given. The results of experimental studies of fixed-rigidity mechanisms of and recommendations for improving the system secure are presented.