

УДК 621.9

М.И. МИХАЙЛОВ, д-р техн. наук, доцент  
заведующий кафедрой «Металлорежущие станки и инструменты»  
E-mail: mihailov@gstu.by

Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого, г. Гомель, Республика Беларусь

Поступила в редакцию 04.02.2016.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СИСТЕМ КРЕПЛЕНИЯ РЕЖУЩИХ ПЛАСТИН НА ЖЕСТКОСТЬ СБОРНЫХ РЕЗЦОВ

Приведены результаты экспериментальных исследований жесткости сборных резцов. Представлено описание разработанного стенда для исследований и методика его тарирования. Установлено влияние систем крепления режущих пластин на жесткость сборных резцов. Приведены сравнительные показатели выбранных систем крепления сменных многогранных пластин.

**Ключевые слова:** металлорежущие инструменты, конструкции, системы крепления пластин, жесткость, анализ

**Введение.** Анализ литературы по исследованиям жесткости выявил, что большой вклад сделан исследователями Российского университета дружбы народов им. П. Лумумбы [1–3]. Многими авторами жесткость сборного инструмента изучалась на специально разработанных стендах, на которых определялась доля смещения режущей кромки инструмента в результате смещения отдельных элементов или в процессе резания, а также численным моделированием [4–9]. По результатам измерений статических перемещений оценивалось влияние жесткости отдельных элементов на суммарную жесткость инструмента. Сила, с которой нагружался инструмент, соответствовала результирующей силе резания. Перед испытаниями на жесткость производился контроль прямолинейности и шероховатости опорной поверхности державки резца и гнезда в державке под пластину. Это позволяло оценивать как конструктивный вариант исполнения инструмента, так и качество его изготовления. Интересными представляются исследования жесткости сборных торцовых фрез с механическим креплением режущих пластин [1, 2]. Испытаниям подверглись фрезы с радиальным и тангенциальным расположением режущих пластин, а также фрезы с инструментальными блоками.

В результате статических нагружений фрез было выявлено, что наибольшей жесткостью по оси Z обладает экспериментальная фреза конструкции ВНИИ с тангенциальным расположением режущих пластин. При больших нагрузках жесткость системы «режущая пластина — корпус» у этой фрезы снижается, а у остальных типов фрез повышается. Для всех типов исследованных фрез, за исключением экспериментальной фрезы ВНИИ, доля перемещения режущей пластины по координате Z за счет перемещения кассеты составляет 50 %.

Исследованию также подвергались сборные резцы [3], однако эти исследования не учитывали вли-

яние условий контакта сменных многогранных пластин (СМП) с элементами системы их крепления.

**Методика исследований.** Обозначения типа крепления принималось по известной классификации [10] (рисунок 1).

Перед проведением опытов пластины были разделены по площадям пятна контакта базовой поверхности с эталонной поверхностью на группы (таблица).

Исследования проводились на специальном стенде (рисунок 2) представляет собой гидрофицированную установку, состоящую из нагружающей и измерительной систем. Сила, с которой нагружался инструмент, совпадала по направлению с результирующей силой резания. Для исключения искажений при перенастройке стенда на другой инструмент были изготовлены специальные штанги 3, на которых были смонтированы источник и приемник (см. рисунок 2).

Принцип работы измерительной системы стенда следующий: световой поток, выходящий из источника 1, падает на грань режущей пластины 2 и частично отсекается, остальная часть светового

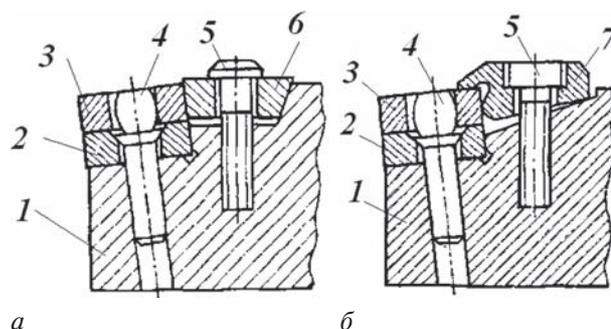


Рисунок 1 — Эскизы систем крепления резцов:  
а — тип *PT*; б — тип *PW* (1 — державка; 2 — подкладка;  
3 — сменная многогранная пластина; 4 — штифт; 5 — винт;  
6 — клин; 7 — прижим)

Таблица — Значения относительных контурных площадей касания

Номер пластины	Относительная площадь
1	2
Четырехгранная форма	
1	0,474
2	0,432
3	0,316

потока попадает на приемник 3 (рисунок 3). В качестве источника использовался полупроводниковый лазер с длиной волны 600 нм. В качестве приемника был выбран фотодиод ФД-3.

Кроме того, был разработан усилитель с коэффициентом усиления, равным 500. Показания с усилителя снимались милливольтметром Digital multimer DT-830B.

Установив в державку твердосплавную пластину, воздействовали на нее силами в 180, 345, 525, 700, 870, 1000, 1200, 1570 Н (имитирующими силы резания) в два этапа: на первом этапе производили нагружение пластины с плавным переходом от

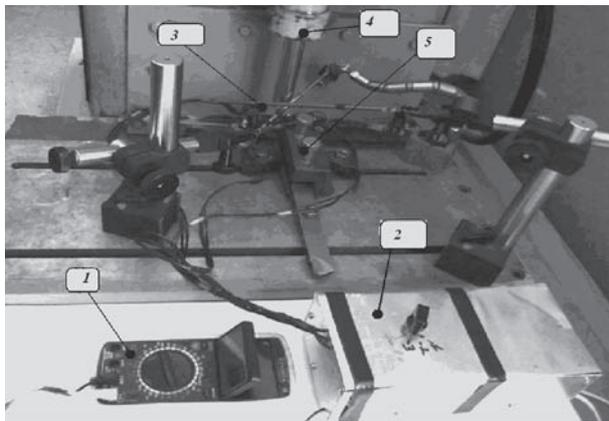


Рисунок 2 — Фотография рабочей зоны стенда для испытания резцов на жесткость: 1 — вольтметр; 2 — усилитель; 3 — штанги; 4 — гидроцилиндр; 5 — резцодержатель с инструментом

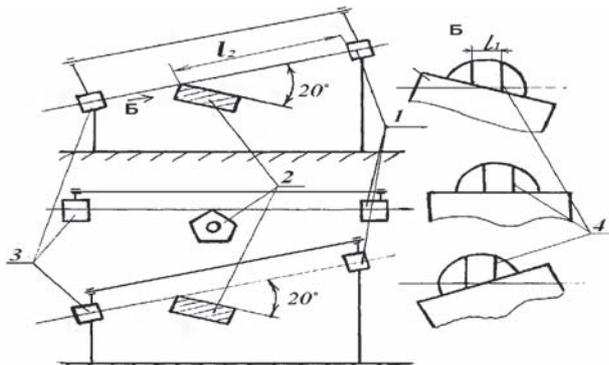


Рисунок 3 — Схемы установки датчиков: 1 — источник; 2 — пластина; 3 — приемник; 4 — шель

одного значения силы к другому, на втором этапе производили разгрузку и определяли перемещения пластины.

Для того, чтобы учесть погрешность от вариации сил зажима, режущие пластины закреплялись при помощи динамометрического ключа.

Тарирование нагружающего устройства проводилось с помощью динамометра ДОСМ-3.

Тарирование измерительной системы производилось с использованием микрометрической скобы (рисунок 4). Датчики тарировались в следующей последовательности: сначала измерительная пятка скобы перемещалась перпендикулярно лучу лазера и показания прибора записывались через каждые 1 мкм, затем определялось среднее значение перемещений в микрометрах на 1 единицу показания прибора.

В результате вычислений средних значений получили чувствительность схемы (0,16 мкм на одно деление прибора). Для уменьшения влияния формы светового потока на точность измерений на выходном окуляре источника закреплялась пластина со щелью шириной 0,1 мм. При измерении на опорную пластину СМП крепятся специальные площадки, позволяющие определять суммарные перемещения опорной пластины и державки резца.

Сравнительный анализ между типами крепления и площадями контакта пластин производился по перемещениям непосредственно в точке приложения нагрузки, для этого были построены в трехмерной системе координат плоскости касательные к передней поверхности пластины. Используя резец со сменной режущих кромок, определены положения плоскости, касательной к верхним граням СМП после нагружения (рисунок 5).

**Результаты исследований.** На рисунке 6 видно, что при снятии нагрузки с пластины, она занимает положение, отличающееся от первоначального, что обусловлено остаточными перемещениями пластины относительно элементов крепления и элементов базирования.

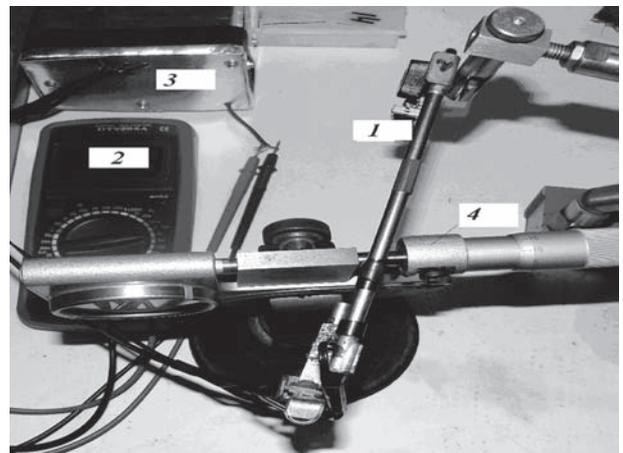


Рисунок 4 — Фотография рабочей зоны при тарировании измерительной системы: 1 — штанга с лазером и приемником; 2 — милливольтметр; 3 — усилитель; 4 — микрометрическая скоба

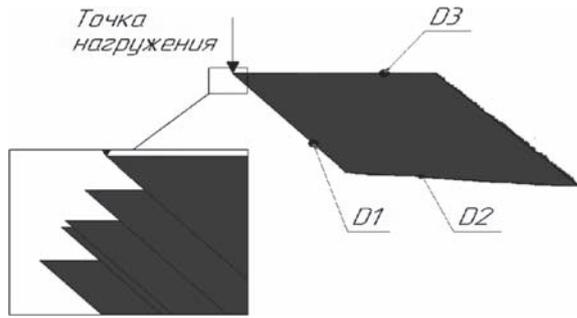


Рисунок 5 — Эскиз положений плоскостей, касательных к верхним граням СМП

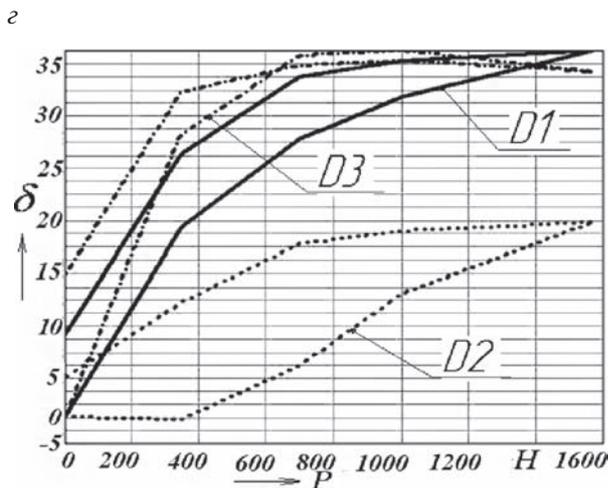
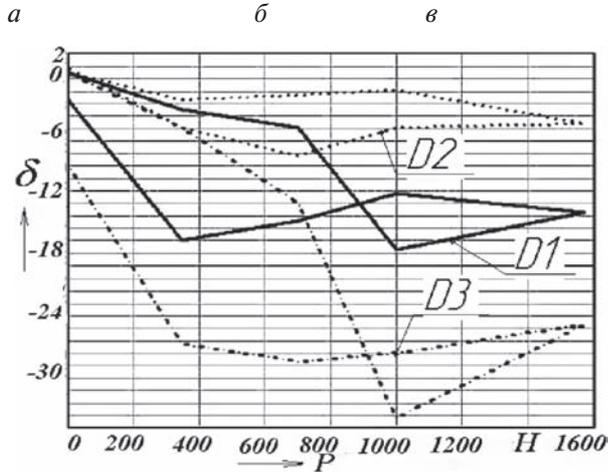
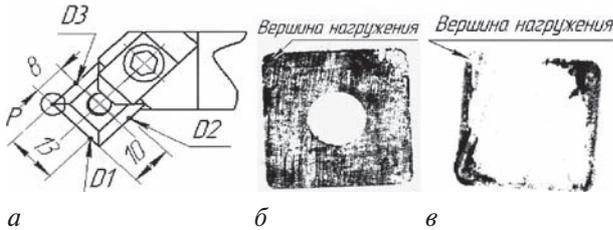


Рисунок 6 — Схема расположения точек измерения (а); площадки контакта опорной поверхности СМП с максимальной (б) и с минимальными площадями контакта (в); графики перемещений  $\delta$  СМП с максимальной (г) и с минимальной (д) площадями контакта, типа крепления РВ

Чтобы произвести оценку полученных результатов, была проведена серия экспериментов с циклическим нагружением СМП без ее снятия с державки.

Полученные данные пересчитаны в перемещения точки нагружения (рисунок 5). График перемещений при циклическом нагружении представлен на рисунке 7.

Как видно на рисунке 7, остаточные перемещения при каждом последующем цикле нагружения уменьшаются, а на третьем и последующих отсутствуют. Также при анализе полученных данных было выявлено изменение коэффициента жесткости. В основном это изменение обусловлено остаточным перекосом СМП.

Коэффициент жесткости после третьего цикла нагружения становится постоянным и не изменяется на последующих циклах нагружения. Изменения коэффициента жесткости происходят в пределах 7 % и после третьего цикла нагружения уменьшаются до нуля.

Также в процессе исследований была проведена серия экспериментов направленная на определение влияния распределения пятна контакта на жесткость системы крепления СМП. Для этого пластина разжималась и поворачивалась на новую грань, что позволяло менять условия контакта СМП и опорной пластины. Сводный график перемещений точки нагружения СМП при повороте пластины показан на рисунке 8.

Анализируя полученные данные, можно заключить, что при повороте пластины меняется коэффициент жесткости, это обусловлено формой пятна (см. рисунок 8).

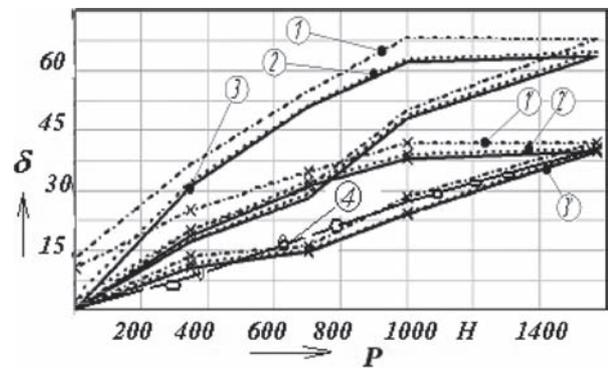


Рисунок 7 — Графики перемещений точки нагружения резцов: 1, 2, 3 — номера циклов нагружения СМП с минимальной площадью контакта; 1', 2', 3' — номера циклов нагружения СМП с максимальной площадью контакта; 4 — теоретическая кривая с максимальной площадью контакта

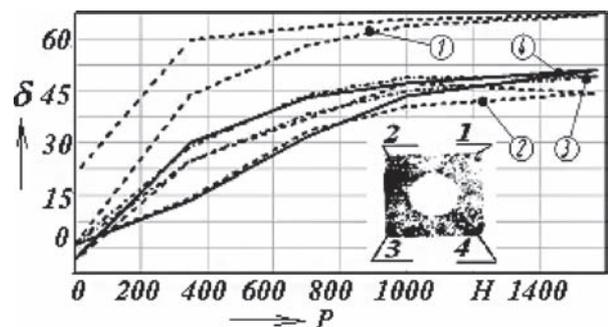


Рисунок 8 — Графики перемещений точки нагружения СМП типа крепления РТ: 1, 2, 3, 4 — номер вершины нагружения

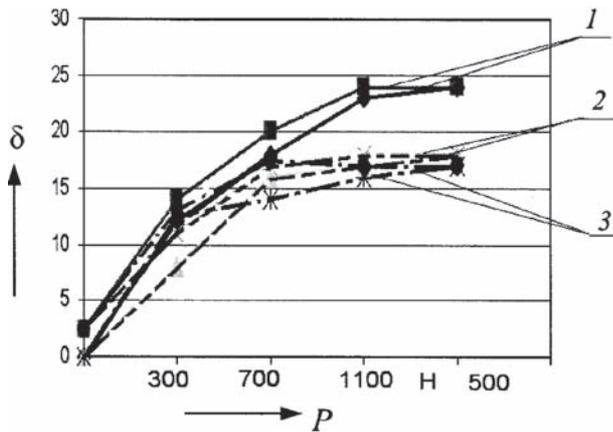


Рисунок 9 — Графики перемещений точки нагружения резцов типа крепления *PW* с четырехгранными пластинами: 1 — минимальной; 2 — средней; 3 — максимальной контурными площадями касания базовых граней

Для более детального анализа типа крепления использовались СМП с различной относительной площадью касания опорной поверхности (см. таблицу, рисунок 9).

Анализ рисунка 9 позволяет заключить, что с увеличением относительной площади касания базовой грани в соотношении 1 : 1,37 : 1,41 соответственно уменьшаются максимальные перемещения пластины в соотношении 1 : 1,37 : 1,5, при этом средний коэффициент жесткости увеличивается в соотношении 1 : 2,26 : 2,9.

Переход от типа крепления *PW* к *PT* приводит соответственно к снижению жесткости в 1,45 раза при изменении среднего коэффициента жесткости в 0,78 раза.

Конструкция резца с типом крепления *PT* обладает высокой технологичностью и невысокой сложностью, но установка режущей пластины на штифт с прижимом ее со стороны боковой грани часто нарушает исходное базирование, что в итоге снижает жесткость резца.

**Заключение.** Предложена конструкция станда для исследования жесткости сборного инструмента, обладающая высокой точностью получаемых результатов. В результате исследования жесткос-

ти конструкции резцов с механическим креплением сменных многогранных пластин установлено, что остаточные перемещения при каждом последующем цикле нагружения уменьшаются, а на третьем и последующих отсутствуют; с увеличением относительной площади касания базовой грани в соотношении 1 : 1,37 : 1,41 соответственно уменьшаются максимальные перемещения пластины в соотношении 1 : 1,37 : 1,5, при этом средний коэффициент жесткости увеличивается в соотношении 1 : 2,26 : 2,9; переход от типа крепления *PW* к *PT* приводит соответственно к снижению жесткости в 1,45 раза при изменении среднего коэффициента жесткости в 0,78 раза.

#### Список литературы

1. Хамуда, С.Н. Экспериментальное исследование жесткости сборных торцевых фрез по их статическим характеристикам / С.Н. Хамуда, К.Г. Громаков, А.Д. Шустиков // Исследование процессов обработки металлов и динамики технологического оборудования. — М., 1982. — С. 44–49.
2. Методика исследования статических характеристик сборных фрез / В. М. Малыгин [и др.] // Вопросы повышения качества металлорежущего оборудования и инструмента: сб. ст. — М.: МСТИ, 1984. — С. 33–37.
3. Вольвачев, Ю.Ф. Оценка качества сборных проходных резцов по статическим и динамическим характеристикам на полуавтоматических испытательных стендах: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.03.01 / Ю.Ф. Вольвачев. — М., 1953. — 18 с.
4. Was ist dran an Big Brother. Produktion: Die Wochenzeitung für das technische Management. — 2000. — № 3. — P. 11.
5. Systeme d'outil equilibre multi-fonctions. TraMetal; Revue technique mensuelle du travail des metaux. — 2000. — № 51. — Pp. 14–16.
6. Лукина, С.В. Система автоматизированного проектирования сборного режущего инструмента / С.В. Лукина // Тр. IV Международн. конгр. «Конструкторско-технологическая информатика-2000», Москва, 2000. — М., 2000. — Т. 2. — С. 33–36.
7. Шевченко, М.В. Экспериментальное исследование жесткости концевых фрез / М.В. Шевченко // Сб. науч. тр. С.-Петербург, ин-т машиностр. — 1999. — № 1. — С. 225–227.
8. Михайлов, М.И. Экспериментальное исследование сборных резцов / М.И. Михайлов // Машиностроение. — Минск, 1990. — Вып. 15. — С. 39–42.
9. Михайлов, М.И. Повышение прочности сборного режущего инструмента / М.И. Михайлов; под ред. П.И. Ящерицына. — Минск: Навука і тэхніка, 1993. — 174 с.
10. Сборный твердосплавный инструмент / Г.Л. Хаета [и др.]; под общ. ред. Г.Л. Хаета. — М.: Машиностроение, 1989. — 256 с.

MIKHAYLOV Mikhail I., Dr. Tehn. Sc., Associate Professor

Head of the Department of Metal-Cutting Machines and Tools

E-mail: mihailov@gstu.by

Sukhoi State Technical University of Gomel, Gomel, The Republic of Belarus

Received 04 February 2016.

## EXPERIMENTAL RESEARCH OF FASTENING SYSTEM OF CUTTING PLATES INFLUENCE ON PREFABRICATED INCISORS STIFFNESS

*The results of experimental research of stiffness of modular cutters are presented. The article describes the developed stand for research and technique of its tarring. The influence of the fastening systems cutting inserts into stiffness of prefabricated incisors has been found. The comparative indicators of the selected fastening systems of replaceable many-sided plates are presented.*

**Keywords:** metal-cutting tools, construction, attachment systems of plates, stiffness, analysis

## References

1. Hamouda S.N., Shustikov A.D., Gromakov K.G. Jeksperimental'noe issledovanie zhestkosti sbornyh torcevyh frez po ih staticheskim harakteristikam [Experimental study of rigidity of prefabricated end mills by their static characteristics]. *Issledovanie processov obrabotki metallov i dinamiki tehnologicheskogo oborudovanija* [Study of metal processing and dynamics of the process equipment]. Moscow, 1982, pp. 44–49.
2. Malygin V.M., [et al.]. Metodika issledovanija staticheskikh harakteristik sbornyh frez [Investigation techniques of static characteristics of prefabricated mills]. *Voprosy povyshenija kachestva metallovezhushhego oborudovanija i instrumenta* [Questions of improving the quality of metal-cutting equipment and tools]. Sat. Art., Moscow, 1984, pp. 33–37.
3. Vol'vach Y.F. *Ocenka kachestva sbornyh prohodnyh rezcov po staticheskim i dinamicheskim harakteristikam na poluavtomaticheskikh ispytatel'nyh standah. avtoref. diss. kand. tehn. nauk* [Quality assessment of prefabricated the incisors through passage of static and dynamic characteristics of the semi-automatic test benches. Cand. tehn. sci. diss.]. Moscow, 1953, 18 p.
4. Was ist dran an Big Brother. *Produktion: Die Wochenzeitung fur das technische Management*, 2000, № 3, p. 11.
5. Systeme d'outil equilibre multi-fonctions. *TraMetal; Revue technique mensuelle du travail des metaux*, 2000, № 51, pp. 14–16.
6. Lukina S.V. Sistema avtomatizirovannogo proektirovanija sbornogo rezhushhego instrumenta [Computer-aided design of the cutting tool]. *V Mezhdunar. kongr. "Konstruktorskotekhnologicheskaja informatika 2000"* [IV Intern. Congreve. "Technological Design Computer Science 2000"]. Vol. 2. Moscow, 2000. pp. 33–36.
7. Shevchenko M.V. Jeksperimental'noe issledovanie zhestkosti koncevyh frez [Experimental study of of rigidity the end mills]. *Sb. nauch. tr. S.-Peterburg, in-t mashinostr.* [Coll. scientific. tr. St. Petersburg Institute of mechanical engineering], 1999, no. 1, pp. 225–227.
8. Mikhailov M.I. Jeksperimental'noe issledovanie sbornyh rezcov [Experimental research of prefabricated incisors]. *Minsk. Mechanical Engineering*, 1990, Issue no.15, pp. 39–42.
9. Mikhailov M.I. *Povyshenie prochnosti sbornogo rezhushhego instrumenta* [Higher strength the cutting tool assembly]. Minsk, 1993. 174 p.
10. Hayot G.L., [et al.]. *Sbornyj tverdospilavnyj instrument* [Prefabricated carbide tools]. Moscow, Mashinostroenie, 1989. 256 p.