

УДК 621.951.1

ПОВЫШЕНИЕ РЕСУРСА СМЕННЫХ ТВЕРДОСПЛАВНЫХ ПЛАСТИН

© 2025 Н.В. Носов, Е.А. Якубович, Н.Г. Трофименко, В.Г. Шуваев

Самарский государственный технический университет, г. Самара, Россия

Статья поступила в редакцию 09.09.2025

В статье предложен и обоснован технологический подход к восстановлению утраченных в процессе эксплуатации режущих свойств сменных твердосплавных пластин. Технологический процесс предусматривает переточку алмазными кругами только по передней поверхности вдоль главной режущей кромки на ширину 0,5 – 2,0 мм и на глубину 0,3 – 0,5 мм с сохранением базовых посадочных поверхностей и формированием стружколомающего уступа. С применением конечно-элементной модели выполнена оценка напряженно-деформированного состояния режущей кромки и сил резания. Опытнo-промышленная проверка восстановленных по предложенному режиму пластин показала увеличение стойкостного ресурса более, чем в три раза по сравнению с новой пластиной.

Ключевые слова: твердосплавный инструмент, стойкость, токарная обработка, режущие пластины, вторичный ресурс, метод конечных элементов, сила резания, усадка стружки, опытнo-промышленная проверка.

DOI: 10.37313/1990-5378-2025-27-3(2)-319-323

EDN: THVYOR

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках государственного задания (Госзадания) FMRW-2025-0052

Сменные многогранные твердосплавные пластины [1] (СМП) широко применяются при токарной обработке деталей на станках с ЧПУ благодаря универсальности и высоким физико-механическим свойствам [2,3]. Они обладают значительной теплостойкостью, что позволяет режущим инструментам эффективно работать при высоких скоростях резания. При этом твердые сплавы с покрытием имеют низкую прочность на изгиб, что ограничивает их возможность работать на черновых, обдирочных операциях, где инструмент испытывает ударное воздействие. Практически ресурс работы СМП зависит только от количества режущих вершин, соответственно стойкость такого инструмента ограничена одноразовым применением.

Вопросы повышения ресурса работы твердосплавных пластин и режимов резания при механической обработке являются актуальной задачей, которая связана с разработкой новых инструментальных материалов и покрытий, применением специальных охлаждающих средств, созданием технологических методов повышения стойкости пластин и т.д.

Ряд ценных в научном и прикладном плане результатов в этом направлении, связанных с мероприятиями по восстановлению режущих свойств пластин при различных видах износа, нанесением износостойких покрытий, подбором характеристик шлифовальных кругов и режимов резания в конкретных условиях, представлен в работах [4-7]. Показана возможность эффективного использования твердосплавных пластин за счет восстановления их первоначальных характеристик, определена оптимальная геометрия восстановленного инструмента, параметры качества покрытий для конкретных условий обработки. Все перечисленные направления, безусловно, в той или иной степени позволяють повысить эффективность механической обработки заготовок, повышают ресурс инструмента и снижают себестоимость готовых деталей.

Однако вопрос выбора технологии восстановления работоспособности и обеспечения вторичного ресурса СМП требует специального рассмотрения. Связано это с тем, что сменные многогранные пластины задумывались как универсальные неперетачиваемые режущие элементы, не подлежащие восстановлению.

Восстановление режущих свойств СМП осуществляется 3 способами:

- за счет переточки изношенных пластин по задней и передней поверхностям, с восстановлением стружколомающей канавки и последующим нанесении износостойких покрытий;

Носов Николай Васильевич, доктор технических наук, профессор кафедры «Технология машиностроения, станки и инструменты».

Якубович Ефим Абрамович, кандидат технических наук, профессор кафедры «Металловедение, порошковая металлургия, наноматериалы».

Трофименко Никита Григорьевич, аспирант.

Шуваев Вячеслав Григорьевич, доктор технических наук, доцент кафедры «Технология машиностроения, станки и инструменты».

- за счет переточки только по задней поверхности с сохранением базовых поверхностей;
- путем переточки алмазными кругами сменных твердосплавных пластин только по передней поверхности.

Недостатками шлифования передней поверхности с восстановлением стружколомающей канавки, по форме напоминающей лунки износа, является технологическая сложность процесса восстановления стружколомающей канавки. К тому же при шлифовании всей передней поверхности двусторонней пластины с нулевым задним углом необходимо обеспечивать высокое качество поверхности и геометрическую точность опорных поверхностей.

Недостатком второго способа является нестабильность геометрической точности обработанной поверхности, а также необходимость доработки державки, чтобы исключить в зоне резания выход подкладной пластины и державки за контур режущей пластины. Возможная потеря геометрической точности и размеров базовых поверхностей может привести к погрешностям установки сменных многогранных пластин в державку, повышенным вибрациям, ослаблению крепления пластин, нестабильности размеров и качества обработанной заготовки и ослаблению режущей кромки за счет уменьшения фаски режущего клина.

Анализ приведенных способов показал, что наибольшая эффективность восстановления может быть получена при использовании третьего способа восстановления, предусматривающего переточку алмазными кругами только по передней поверхности. Основные особенности предложенной технологии заключаются в том, что заточка по передней поверхности производится вдоль главной режущей кромки на ширину 0,5 – 2,0 мм от режущей кромки и на глубину 0,3 – 0,5 мм. Это позволяет полностью сохранить базовые опорные и упорные посадочные поверхности, при этом сохраняется покрытие по задней поверхности и формируется стружколомающий уступ.

В связи с тем, что после переточки толщина пластины уменьшается, было проведено исследование прочности пластин после восстановления. Анализ прочности СМП проводился в следующей последовательности:

1. Строилась CAD-геометрия расчетной модели с помощью созданной предварительно геометрии СМП в среде Компас-3D.

2. Определялась сила резания в зависимости от режимов обработки.

3. Строилась конечно-элементная модель СМП в пакете ANSYS Workbench 2022 R3.

4. Конечно-элементная модель нагружалась статической силой резания, приложенной на площадку контакта по передней поверхности и определялись соответствующие напряжения.

Для определения силы резания P_z , что является важной составляющей процесса моделирования, предложена формула (1), которая учитывает не только свойства материалов и режимы обработки, но и усадку стружки

$$P_z = K_y \times K_c \times S \times t, \quad (1)$$

где S – подача на оборот, мм/об.; t – глубина резания, мм; K_c – удельная сила резания, Н/мм²; K_y – коэффициент усадки стружки.

Сравнение значений коэффициента усадки в зависимости от режимов точения новыми и восстановленными пластинами показало, что для новых пластин коэффициент усадки стружки изменялся от 2,8 до 3,58, что приводит к большим силам резания (до 1475 Н). Это связано с геометрией пластины, у которой на передней поверхности передний угол является отрицательным $\gamma = - (15 - 20)^\circ$ на ленточке СМП шириной 0,3 мм. Поэтому на чистовых режимах обработки с глубиной резания, соизмеримой с размером ленточки, может возникать повышенная усадка, которая приводит к вибрациям и ухудшению качества обработки.

Применение восстановленных пластин изменило геометрию передней поверхности до $\gamma = (5 - 7)^\circ$. Это позволило существенно снизить усадку стружки до 1,7 – 2,2. Расчеты показывают, что при этом силы резания при одинаковых режимах обработки уменьшились на (75 – 90) %. Изменился и износ восстановленных пластин, которые преимущественно изнашивались по передней поверхности с образованием лунки износа.

На основании всех расчетных данных определялись напряжения, которые испытывает пластина при точении (рис. 1). Моделировался фрагмент, составляющий 1/8 СМП, закрепленной по всем осям по внутренним поверхностям. Нагрузка задавалась давлением. Опыт повторялся для 36 конфигураций модели, соответствовавших контактными площадкам, включая вариант с переточкой по передней поверхности.

Обобщенно, по результатам анализа можно сделать вывод, что пластины имеют как минимум трехкратный запас прочности при воздействии сжимающих нагрузок и устойчивы к работе на получистовых и черновых режимах с глубиной резания как минимум до 1 мм и подачами 0,5 – 1,0 мм/оборот.

Испытания показали, что с увеличением подачи стойкость покупных пластин уменьшилась с 17 до 10 мин, а стойкость восстановленных с 18 до 3 мин, т.е. работать на данных режимах вос-

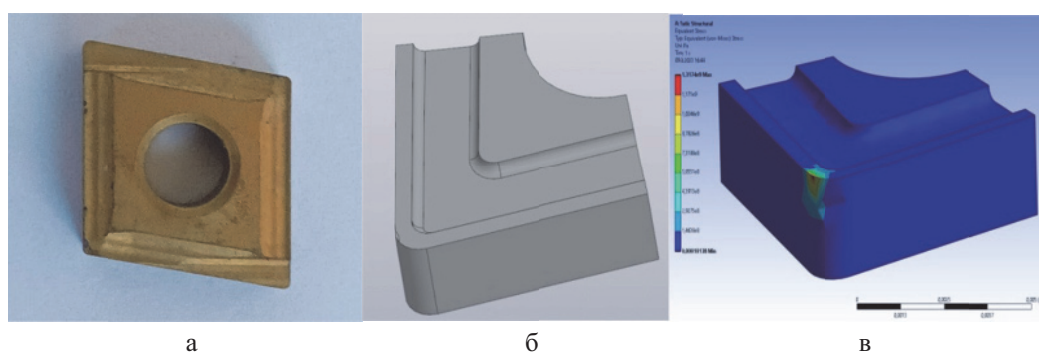


Рис. 1. Восстановленная СМП и результаты моделирования
 а – восстановленная СМП, б – CAD-геометрия расчетной модели;
 в – результат CAE-расчета напряжений в режущей кромке

становленными пластинами нельзя. Применение покрытия из TiN для восстановленных пластин оказалось неэффективным, т.к. стойкость МНП самая низкая и уменьшается с увеличением подачи с 11 мин. до 2 мин. Анализ экономических критериев проводился по методике [9], который предусматривал определение следующих технико-экономических показателей: скорости потери стоимости грани K_m в €/см³; стоимости снятия 1 м³ стружки $S(1м^3)$ в €.

Расчеты показали, что величина K_m с увеличением подачи в 2,5 раза для покупных пластин повышается в 1,5 раза. Для восстановленных пластин с покрытием и без покрытия величина K_m увеличилась в 2 раза. В тоже время применение покрытия из TiN снизило эффективность работы почти в 3 раза, что свидетельствует об ограниченном применении восстановленных пластин с покрытием из TiN на черновых операциях и более эффективном покрытии покупных пластин.

Расчеты финансовых средств в производство при удалении 1 м³ материала заготовок показывают, что при $S_0 = 0,2$ мм/об и $t = 3$ мм величина $S(1м^3)_{покуп}$ для покупных МНП, составила 18532,14 €, а для восстановленных $S(1м^3)_{восст} = 17163,49$ €, т.е. экономия средств составит $18532,14 - 17163,49 = 1368,65$ € или 97653,18 руб. на 1 режущую кромку (таблица 1)

Таблица 1. Техничко-экономические показатели процесса точения различными пластинами

Параметры	Черновые операции: $t = 3$ мм, $V_p = 120$ м/мин.			
S , мм/об	0,2	0,3	0,4	0,5
	<u>Покупные</u>			
K_m , €/см ³	0,0016	0,0013	0,0012	0,0011
$S(1м^3)$, €	18532,14	12588,18	9606,48	7870,37
	<u>Переточенные без покрытия</u>			
K_m , €/см ³	0,00027	0,00032	0,00048	0,00064
$S(1м^3)$, €	17163,49	11583,84	8926,68	7396,07
	<u>Переточенные с покрытием</u>			
K_m , €/см ³	0,0009	0,0011	0,0016	0,0019
$S(1м^3)$, €	17766,53	12326,79	10041,11	8669,70

Исследования показали, что с увеличением подачи эффективность покупной МНП возрастает с 18532,14 € до 7870,37 €, т.е. в 2,35 раза, для восстановленных пластин при аналогичной производительности эффективность применения изменяется от 17163,49 € до 7396,07 €, т.е. 2,32, что соответствует покупным пластинам.

Восстановленные по разработанной технологии пластины прошли опытно-промышленную проверку при чистовом точении стали 38ХМЮА на токарно-карусельном станке с ЧПУ 1А512Ф3 с режимами: скорость резания $V_p = 160$ м/мин, $t = 0,5$ мм, $S = 0,2$ мм/обор, работа с охлаждением – эмульсия.

По полученным результатам рассчитывался ресурс пластины по формуле [5]

$$P_i = P_{ir} \cdot (1 + i \cdot \xi), \quad (2)$$

где P_{ir} – стойкость одной вершины новой пластины, i – число повторных операций восстановления, ξ – коэффициент снижения стойкости пластины, $\xi = 0,8$.

Приняв согласно рекомендациям [8] $P_{ir} = 20$ ч, $i = 3$ получим расчетное значение стойкости восстановленной пластины $P_i = 64$ ч. Таким образом по сравнению с новой пластиной ресурс восстановленного инструмента увеличился более, чем в три раза.

ВЫВОДЫ

Разработана технология восстановления сменных многогранных неперетачиваемых пластин, обеспечивающая стабильные показатели качества обработки при заданных режимах обработки и стойкость порядка 80% от изначальной стойкости покупной пластины (фирма Sandvik Coromant) в зависимости от режимов обработки.

Расчеты показывают, что величина K_m в €/см³ при работе восстановленными пластинами увеличивается с повышением подачи 2,5 раза с 0.00027 до 0.00064 €/см³. При сравнении с обработкой покупными пластинами K_m снизился в 1,8-5.5 раза.

Аналогичные данные получены при анализе влияния режимов обработки на величину $S(1м^3)$ в €, особенно при чистовых режимах обработки.

Технико-экономический анализ проведенных исследований показал, что наибольшую эффективность показали восстановленные пластины при чистовом точении стали 09Г2С на токарно-карuselном станке с ЧПУ 1А512Ф3.

Эффективность обработки деталей восстановленными пластинами повысилась по сравнению с покупными почти в 10 раз.

Предложенная технология могут быть положена в основу создания инновационного сервиса по восстановлению режущих свойств твердосплавных многогранных пластин, что позволит не только вернуть их первоначальные характеристики, но и улучшить их за счет современных технологий восстановления.

Излагаемая методика получения максимальной производительности при минимальной стоимости процесса точения может быть применима к пластинам производителя, восстановленным неперетачиваемым и упрочненным покрытием пластинам. Сравнение $S(1м^3)$ и K_m полученных при производственных испытаниях позволяют выявить наиболее эффективный инструмент (МНП), который работает как с максимальной производительностью, так и с минимальной стоимостью.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 19086-80. Пластины сменные многогранные твердосплавные: введен 01.01.82. – М., Стандартинформ, 2006. – 12 с.
2. Лоладзе, Т. Н. Прочность и износостойкость режущего инструмента / Т. Н. Лоладзе. – М. : Машиностроение, 1982. – 320 с.
3. Сахаров, Г.П. Металлорежущие инструменты / Г.П. Сахаров [и др]. – М.: Машиностроение, 1989. – 327 с.
4. Попов, А.Ю. Повышение эффективности использования современных инструментов со сменными твердосплавными пластинами за счет их вторичного ресурса / А.Ю. Попов, Д.С. Радченко, Е.В. Васильева // Вестник УГАТУ. – Уфа, 2012. – Т.16. – № 4. – С.46-51.
5. Балакиров, С.Н. Разработка технологии восстановления сменных твердосплавных пластин / С.Н. Балакиров, Н.В. Носов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2018. – Т.20. – №4(2). – С. 165-169.
6. Носов, Н.В. Технология восстановления ресурса многогранных неперетачиваемых пластин / Н.В. Носов, В.Н. Лавро, С.Н. Балакиров // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2020. – Т.22. – № 3. – С.82-86.
7. Попов, А.Ю. Обеспечение вторичного ресурса работоспособности многогранных твердосплавных пластин металлорежущих инструментов комплексным формообразованием их режущей части: специальность 05.03.01.: дис....д-ра техн. наук / А.Ю. Попов; Московский гос. техн. ун-тет «СТАНКИН». – М., 1999. – 295 с.
8. Каталог Sandvik Токарные инструменты: сайт. – URL: <https://cdn.sandvik.coromant.com> (дата обращения 14.11.2024).
9. Носов, Н.В. Исследование усадки стружки при токарной обработке сталей восстановленными пластинами / Н.В. Носов, С.Н. Балакиров, Н.Г. Трофименко, Я.Р. Тихонов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2020. – Т. 22. – № 3 (95). – С. 127-131.

INCREASING THE LIFETIME OF REPLACEABLE HARD-ALLOY INSERTS

© 2025 N.V. Nosov, E.A. Yakubovich, N.G. Trofimenko, V.G. Shuvaev

Samara State Technical University, Samara, Russia

The article proposes and justifies a technological approach for restoring the cutting properties of replaceable carbide plates lost during operation. The process involves diamond circles only on the front surface along the main cutting edge at a width of 0.5 to 2.0 mm and a depth of 0.3 to 0.5 mm, preserving the base surfaces and forming the grinding crease. The stress-deformed state of the cutting edge and the cutting forces are evaluated using a finite element model. The test of the plates restored under the proposed regime showed that the durability has increased by more than three times compared to the new plate.

Keywords: carbide tool, fastness, turning, cutting plates, secondary use, end-element method, cutting force, chip retraction, pilot-scale testing.

DOI: 10.37313/1990-5378-2025-27-3(2)-319-323

EDN: THVYOR

REFERENCES

1. GOST 19086-80. Plastiny smennye mnogogrannye tverdosplavnye: vveden 01.01.82. – M., Standartinform, 2006. – 12 s.
2. Loladze, T. N. Prochnost' i iznosostojkost' rezhushchego instrumenta / T. N. Loladze. – M. : Mashinostroenie, 1982. – 320 s.
3. Saharov, G.P. Metallorezhushchie instrumenty / G.P. Saharov [i dr]. – M.: Mashinostroenie, 1989. – 327 s.
4. Popov, A.Yu. Povyshenie effektivnosti ispol'zovaniya sovremennyh instrumentov so smennymi tverdosplavnymi platinami za schet ih vtorichnogo resursa / A.Yu. Popov, D.S. Radchenko, E.V. Vasil'eva // Vestnik UGATU. – Ufa, 2012. – T.16. – № 4. – S.46-51.
5. Balakirov, S.N. Razrabotka tekhnologii vosstanovleniya smennyh tverdosplavnyh plastin / S.N. Balakirov, N.V. Nosov // Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk. – 2018. – T.20. – №4(2). – S.165-169.
6. Nosov, N.V. Tekhnologiya vosstanovleniya resursa mnogogrannyh neperetachivaemyh plastin / N.V. Nosov, V.N. Lavro, S.N. Balakirov // Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk. – 2020. – T.22. – № 3. – S.82-86.
7. Popov, A.Yu. Obespechenie vtorichnogo resursa rabotosposobnosti mnogogrannyh tverdosplavnyh plastin metallorezhushchih instrumentov kompleksnym formoobrazovaniem ih rezhushchej chasti: special'nost' 05.03.01.: dis....d-ra tekhn. nauk / A.Yu. Popov; Moskovskij gos. tekhn. un-tet «STANKIN». – M., 1999. – 295 s.
8. Katalog Sandvik Tokarnye instrumenty: sajт. – URL: <https://cdn.sandvik.coromant.com/> (data obrashcheniya 14.11.2024).
9. Nosov, N.V. Issledovanie usadki struzhki pri tokarnoj obrabotke stalej vosstanovlennymi platinami / N.V. Nosov, S.N. Balakirov, N.G. Trofimenko, Ya.R. Tihonov // Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk. – 2020. – T. 22. – № 3(95). – S. 127-131.