

**Л. Г. ПОЛОНСКИЙ**, докт. техн. наук, Житомирский  
государственный технологический университет

## **МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ГАЗОТЕРМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ И ЕЁ ВЛИЯНИЕ НА РАЗВИТИЕ ТЕХНИКИ НАПЫЛЕНИЯ (продолжение)**

Представлены результаты исследования причин, условий и направлений развития механической обработки газотермических покрытий (ГТП) и показано её влияние на совершенствование техники напыления.

Представлені результати дослідження причин, умов і напрямів розвитку механічної обробки газотермічних покриттів (ГТП) і показано її вплив на вдосконалення техніки напылення.

The result of investigation of causes, conditions and trends in developments of machining of gas-thermal coatings (GTC) are described. It's influence on the improvements of spraying equipment is shown as well.

Лезвийная обработка напыленных покрытий. Уже на середину 60-х гг. XX в. сложились предпосылки к распространению покрытий упрочняющего и специального назначения. Кроме разработки соответствующих материалов, этому содействовали и изменения в энергетической базе техники напыления. Появление плазменных и детонационных вариантов оборудования позволило получать покрытия с высоким уровнем физико-механических свойств. Затраты на такие покрытия можно было оправдать только высокими эксплуатационными характеристиками объектов, на поверхности которых они напылялись. Обеспечение при помощи покрытий показателей надёжности деталей машин, требования к которым постоянно возрастали вследствие увеличения эксплуатационных скоростей, температур и давлений, использования агрессивных сред, требовало улучшения не только точности и шероховатости, но и достижения соответствующего состояния поверхностных слоёв рабочих поверхностей.

К тому же, исторически сложилось так, что при разработке новых материалов для покрытий основное внимание уделялось получению их необходимых физико-механических свойств, а об улучшении технологических характеристик таких материалов даже не задумывались. Такой односторонний подход к усовершенствованию напыляемых материалов не подвергался принципиальным изменениям на протяжении многих лет.

Твёрдость покрытий достигла  $HRC_3 > 60$ , а остальные механические свойства приблизились к свойствам инструментальных материалов. При помощи техники напыления ГТП уже можно было создавать детали для эксплуатации в условиях не только коррозии и изнашивания вследствие

трения, а и повышенных температур. Однако, отсутствие эффективных инструментальных материалов для обработки подобных покрытий резко ограничивало возможности изготовления таких деталей машин. Возник своеобразный барьер на пути дальнейшего развития техники напыления. Она сконцентрировалась исключительно в тех сферах промышленности, – в первую очередь, в ремонтном производстве, – где умеренные требования к свойствам и качеству покрытий на конструкциях и деталях общемашиностроительного назначения позволяли реализовывать хорошо освоенные технологические процессы механической обработки. Лезвийная обработка более совершенных покрытий вызывала значительные трудности, а во многих случаях вообще ставала невозможной. Обработка таких покрытий, невзирая на то, что уже было доказано, что для повышения износостойкости их необходимо подвергать точению, а не шлифованию [7, 16, 19, 40], продолжала полностью ориентироваться именно на шлифование, хотя оно, чаще всего, и не удовлетворяло потребностей производства.

Достаточно узкая география распространения техники газопламенного и электродугового напыления покрытий на протяжении 1930–1940-х гг. создала такие условия, при которых общие объёмы обработки покрытий резанием, невзирая на их постоянное возрастание, оставались, всё-таки, незначительными. Покрытия применялись, в основном, для защиты от коррозии и не требовали дополнительной механической обработки. В тех случаях, когда обработки избежать было невозможно, её вели, опираясь на многовековой опыт обработки монолитных материалов. Для покрытий из алюминия, свинца, цинка, даже из стали, этого было достаточно.

С началом использования для покрытий материалов, твердость которых была на уровне закалённой стали и выше, окончательно выяснилось, что опыт обработки резанием монолитных материалов не всегда себя оправдывал, потому что покрытия на поверхностях вели себя во время резания вовсе не так, как материалы, обработка которых уже была хорошо отработана.

Механическая обработка покрытий повышенной твёрдости столкнулась с проблемами, которые, хотя и не были неожиданными, но, как быстро стало понятно, не решались ни применением передовых достижений теории и практики резания, ни использованием самых совершенных инструментов и станков. Выяснилось, что наука о резании материалов не готова сразу дать ответы на вопросы, возникшие в связи с необходимостью обработки изнородных и жаростойких покрытий.

После некоторого периода неопределённости (1950-е – 1960-е гг.) постепенно начали появляться публикации разрозненных и, чаще всего, ещё далеко не совершенных в теоретическом и практическом плане работ по резанию газопламенных и электродуговых покрытий (в большинстве случаев – точением, потому что львиную долю деталей с покрытиями составляли тела вращения). Значительный толчок исследованию процессов резания покрытий дало освоение упрочняющего напыления.

Изменения в средствах механической обработки покрытий вышли на необратимый уровень именно по этой причине. Качественно новая ситуация сложилась с появлением синтетических алмазов и, особенно, сверхтвёрдых материалов (СТМ) на основе кубического нитрида бора (КНБ), которые имели большую, по сравнению со всеми известными материалами режущую способность. Распространение инструментальных СТМ в промышленности, которое происходило чрезвычайно бурно, не могло не охватить и сферу механической обработки напыленных покрытий.

В Советском Союзе развёртыванию работ по проблемам механической обработки покрытий способствовали, в первую очередь, появление новых отечественных инструментальных СТМ с уникальным диапазоном режущих свойств (1970-е – 1980 гг.) – гексанита-Р (разработка Института проблем материаловедения (ИПМ) АН УССР, авторы И. Н. Францевич, О. М. Пилянкевич, Г. Г. Карюк и др.) и киборита (разработка Института сверхтвёрдых материалов (ИСМ) АН УССР, авторы Н. В. Новиков, А. А. Шульженко, Н. П. Беженарь и др.).

В это же время аналогичные инструментальные материалы (амборит, боразон) начали использоваться и в зарубежной практике механической обработки труднообрабатываемых материалов. Преимущества СТМ, а это – низкий коэффициент трения, низкая способность к адгезии с металлами, относительно высокая теплостойкость, возможность получения на рабочей части острой режущей кромки, – относительно условий обработки покрытий, которые отличаются, в первую очередь, небольшим сечением среза стружки, содействовали эффективному использованию инструментов из них. Уже первые эксперименты и попытки практического применения резцов из композитов 01 (эльбор-Р) и 10 (гексанит-Р) показали их перспективность при точении покрытий из самофлосующихся порошков на основе никеля [41–43]. В частности, было экспериментально доказано, что их применение не вызывает значительных структурных изменений в поверхностных слоях покрытий.

Традиции механической обработки, общий уровень науки о резании материалов ещё в начале 70-х гг. XX в. позволил начать изучение проблемных вопросов обработки покрытий теоретически, а не только путём накопления данных, полученных в процессе изготовления изделий с покрытиями, как это чаще всего было раньше. В это время одним из первых системные исследования обработки резанием изделий с покрытиями, в первую очередь, наплавленными, начал в Брянском институте транспортного машиностроения (БИТМ) (сейчас – Брянский государственный технический университет) известный учёный-машиностроитель, докт. техн. наук, проф. Эдуард Вячеславович Рыжов (08.11.1928 г.–11.11.1997 г.) [44].

Научная школа механической обработки покрытий начала формироваться Э. В. Рыжовым в конце 1960-х–в начале 1970-х гг. также в стенах БИТМ. В своём развитии она прошла путь от изучения локальных проблем обработки покрытий до комплексного решения общей проблемы улучшения

качества и обеспечения эксплуатационных свойств изделий машиностроения, в том числе, и за счёт управления структурой и различными характеристиками функциональных поверхностей из композиционных градиентных и гетерогенных материалов при помощи и благодаря механической обработке. В рамках основного научного направления работ – технологического управления качеством и эксплуатационными свойствами поверхности материалов (а это априори предусматривает также и применение покрытий) под общим руководством Э. В. Рыжова начались исследования обрабатываемости и напыленных покрытий.

После переезда Э. В. Рыжова в Киев эти работы были продолжены и значительно расширены в ИСМ АН УССР. В частности, они коснулись и алмазно-абразивной обработки. Развитию всесторонних исследований по резанию покрытий содействовало то, что как раз в это время промышленность страны освоила производство большой гаммы инструментальных СТМ – гексанита-Р, эльбора-Р, белбора и т. д., началось внедрение киборита, нашли применение лезвийные инструменты и шлифовальные круги с этих материалов.

Результаты исследований Э. В. Рыжова по обработке покрытий широко внедрялись в производство. Под его руководством и при непосредственном участии выполнено много исследовательских работ по заказам Волгоградского тракторного завода, Горьковского завода фрезерных станков, Коломенского завода тяжёлых станков, Московского завода шлифовальных станков, машиностроительных предприятий г. Брянска и др.

Благодаря этим усилиям были налажены деловые связи специалистов-машиностроителей ИСМ с коллегами из Болгарии, Великобритании, ГДР, Венгрии, Чехословакии, Швейцарии, Югославии и др. стран. Сегодня обработка резанием – неотъемлемая часть технологических процессов окончательного формирования наплавов и ГТП в ремонтном секторе алмазо- и золотодобывающего комплекса Российской Федерации, на многих авторемонтных заводах почти всех стран СНГ, металлургических и машиностроительных предприятиях Беларуси, Казахстана, Молдовы, Сербии, Узбекистана, Украины.

Научное направление, одним из основоположников которого был Э. В. Рыжов, продолжает развиваться в Украине и в нынешних тяжёлых условиях социально-экономических преобразований. Принципы и подходы к обработке покрытий, предложенные им и его учениками, много в чём позволили сформировать современное комплексное содержание понятия “техника напыления ГТП”, которое обязательно охватывает на нынешнем этапе технического развития такие элементы, как технологические процессы механической обработки покрытий и средства их осуществления. Исследования под руководством Рыжова по обрабатываемости покрытий являются значительным вкладом в разработку научных основ теории прерывчатого резания материалов с небольшими сечениями среза. Они

содействовали началу формирования в Украине школы (“киевской” школы механической обработки покрытий, которая постепенно наращивает объём исследований в вузах, научно-исследовательских институтах и на многих предприятиях гг. Алчевска (Луганская обл.), Донецка, Житомира, Запорожья, Киева, Львова, Одессы, Харькова, Хмельницкого, Черкасс и др.

Но, к сожалению, невзирая на неоспоримые успехи, объём экспериментальных исследований по обрабатываемости напыленных покрытий даже и после освоения СТМ остается незначительным. Изучение процессов их резания и внедрение результатов в производство не имеют чёткой системы и стабильного комплексного характера и сегодня (правда, необходимо констатировать, что на протяжении 80-х гг. XX ст. произошли некоторые положительные сдвиги в этом направлении). Это мешает обобщению полученных результатов и влияет на научный уровень выполняемых работ, а также на внедрение их в практику работы предприятий. Хотя, в общем, сама идея необходимости органического совмещения работ по созданию покрытий с исследованиями и их механической обработки возникла ещё в начале 1980-х гг.

Впервые её чётко сформулировал докт. техн. наук, заместитель директора ИПМ АН УССР Г. Г. Карюк в своём выступлении в мае 1984 г. на научно-практической конференции в г. Навои (Узбекская ССР). Тогда он сказал: „...Из опыта, который... имеется, можно назвать несколько примеров, когда великолепные материалы для наплавки и покрытий заменяются менее эффективными только по той причине, что их после нанесения на деталь нечем обрабатывать. Поэтому работу по покрытиям следует проводить в комплексе с исследованиями и разработкой методов обработки этих покрытий...” [45, с. 117]. К такому выводу учёного подвиг, безусловно, полученный институтом опыт освоения разнообразных покрытий, в том числе, и газопламенных и электродуговых.

Внедрение инструментов из СТМ позволило значительно интенсифицировать режимы обработки газопламенных покрытий. Скорость резания при точении на средину 80-х гг. XX в. достигла 2,67 м/с [46, 47]. Появилась возможность путём регулирования параметров обработки влиять как на показатели точности, так и на состояние поверхностных слоёв обработанной поверхности покрытий.

Инструменты из СТМ применялись при механической обработке самых разных покрытий. Наиболее работоспособными выявились ПСТМ на основе КНБ – амборит [48], белбор [46, 49], боразон [47], гексанит-Р, киборит, ниборит [49].

Чистовое точение ГТП стало возможно производить резцами из киборита, композита 01, композита 10 и др. ПСТМ на основе КНБ [17, 49].

Инструменты, оснащённые киборитом, во многом случаях позволяли также обрабатывать ГТП за один проход, используя глубину резания до 2,5 мм и даже больше [50–53].

При обработке резанием инструментальными СТМ, как удалось исследовать, в поверхностных слоях покрытий происходят структурно-фазовые превращения, содействующие их упрочнению. Благодаря инструментам из ПСТМ практически была решена проблема лезвийной обработки покрытий из порошковых самофлюсующихся материалов твердостью  $HRC$ , 58...62, которые являются основными в сегодняшней технике газопламенного напыления [23, 54].

Исследования, эксперименты и практика точения разнообразными ПСТМ разных по составу и твердости напыленных покрытий (1980-е гг.) позволили обобщить их режимы резания [49, 51]:  $v = 1,33...3,00$  м/с,  $S = 0,08...0,10$  мм/об,  $t$  – до 1 мм.

Стойкость токарных резцов из СТМ удалось довести до  $T = 80$  мин. (за счёт улучшения режущей способности инструментального материала) [49]. При этом стало возможным стабильно получать шероховатость поверхности в пределах  $Ra = 0,6...0,4$  мкм.

Использование синтетических алмазов и СТМ на основе КНБ для изготовления шлифовальных кругов обеспечило уменьшение и тепловых нагрузок при абразивной обработке покрытий. Наиболее эффективно шлифовальных кругов для алмазно-абразивной обработки зарекомендовали себя при обработке плазменных и детонационных покрытий. Режимы шлифования, по сравнению с традиционной абразивной обработкой, стали намного выше:  $v_k = 35...50$  м/с,  $v_d = 0,20...0,61$  м/с,  $t = 0,07...1,50$  мм [49, 55, 58].

Обобщение результатов исследований и практического опыта шлифования покрытий алмазными кругами и кругами из СТМ на основе КНБ (в частности, эльборовыми) на металлических и органических связках позволило выработать определённые рекомендации, выполнение которых гарантирует необходимое качество обработки. Стало понятно, что покрытия из порошковых самофлюсующихся материалов твердостью  $HRC$ , 58...64 целесообразней всего обрабатывать алмазными кругами. Черновую обработку покрытий начали эффективно осуществлять такими кругами на металлических связках, а чистовую – на органических [49]. Для шлифования детонационных и плазменных покрытий, особенно, из композиционных материалов на основе железа, очень широко начали применять эльборовые круги (типа Л025 100 % – С1К7) [59–61]. Это позволило повысить скорость вращения кругов до 40 м/с и более.

Благодаря применению алмазно-абразивного шлифования покрытий удалось значительно, почти в три раза, улучшить коэффициент относительной производительности процесса – отношение фактического съёма к расчётному – (0,94...0,98 – для алмазных кругов; 0,95 – для эльборовых; в то время, когда для абразивных – всего 0,37) [61].

Обработку деталей с покрытиями, которые не требовали высокой точности размеров, начали осуществлять эластичными алмазными инструментами специальной конструкции: лентами, лепестковыми кругами

[62], кругами с наклеенной лентой типа „АЛШЕ” („Ёжик”) [63] или брусками АБШЛ („Лесенка”) [64].

Постепенно вошел в употребление такой вид алмазно-абразивной обработки, как притирка чугунами брусками с применением паст на основе мелкодисперсных алмазных порошков [49]. Параллельно с алмазно-абразивной продолжалось и продолжается применение традиционных видов обработки (шлифование абразивными кругами [65–70], комбинированная обработка). Осуществлялись попытки внедрения электроалмазного шлифования. Но вследствие технологической сложности и значительной стоимости оборудования этот процесс себя экономически не оправдал. Сегодня ограничено используются только электрохимическое шлифование [55] и обкатывание, совмещённое с термической обработкой [71].

Применяемые методы обработки позволили обеспечить достижение шероховатости обработанной поверхности  $Ra = 0,04$  мкм.

Внедрение в промышленность синтетических алмазов и СТМ на основе КНБ дало значительный толчок теоретическому изучению процессов резания ими. Успешное применение СТМ для резания ГТП положило начало системному исследованию закономерностей обработки на основе физических представлений о данном процессе. Необходимость интенсификации технологических процессов окончательного формирования покрытий, освоение техникой напыления, с одной стороны, труднообрабатываемых материалов, а с другой – инструментальных СТМ, и, вследствие этого, повышение режимов резания, создали условия, при которых управление изготовлением деталей с покрытиями стало невозможным без понимания теоретических основ механической обработки последних. Постепенно начало формироваться новое направление науки о резании – теория прерывчатого резания с небольшими сечениями среза гетерогенных материалов покрытий.

Основными вопросами, которые начали рассматриваться в этом направлении, стали:

- 1) изучение процесса стружкообразования;
- 2) изучение сил резания;
- 3) изучение тепловых явлений;
- 4) изучение вопросов контактного взаимодействия обрабатываемого и инструментального материалов, износа и стойкости инструмента;
- 5) определение оптимальных режимов и параметров резания.

Исследования 1970-х–1990-х гг. по механике резания газопламенных покрытий дополнили представления о пластических и упругих деформациях во время их обработки с учётом наличия переходной зоны между покрытием и основой, о контактных процессах и механизме сил, действующих на передней и задней поверхностях инструментов. Эксперименты А. А. Виноградова, С. А. Клименко, Ю. А. Муковоза и др. исследователей [72–74] позволили определить коэффициенты трения  $\mu$  на передней поверхности инструментов из СТМ на основе КНБ ( $\mu = 0,01 \dots 0,10$ ).

М. Л. Ерёмченко, Э. Е. Фельдштейном и П. И. Ящерицыным (Белорусская ССР) было доказано, что характерным для обработки покрытий является превышение составляющей силы резания  $P_y$  над составляющими  $P_x$  и  $P_z$  [46]. Для приблизительного определения составляющих сил резания получены (А. И. Корнийчук, Н. Ф. Литвинович, П. И. Ящерицын и др. [41, 43, 46, 72]) эмпирические зависимости вида  $P_{x,y,z} = f(v, S, t, \gamma \dots)$ .

Относительно отдельных видов газопламенных покрытий (в первую очередь, на основе самофлюсующихся порошков системы  $Ni-Cr-B-Si$ ) определены их механические свойства – пределы прочности на растяжение и сжатие, модули упругости, удельный вес и др. (работы Ю. С. Борисова, С. А. Клименко, Ю. А. Харламова и др. [11, 12]).

Сложность большинства классических способов определения температуры сдерживает развитие исследований тепловых явлений при резании покрытий. Необходимость применения термпар требует значительных затрат на установку их в поликристаллы СТМ. Ограниченность моделей стационарной теплопроводности, которые используются при расчётах, не даёт возможности учитывать изменение температурных полей во времени. Такие исследования с самого начала свелись, в основном, к поиску наиболее приемлемых методов экспериментального определения температуры в зоне обработки и они значительно уступают уровню аналогичных исследований при резании монокристаллических материалов.

Отсутствие обобщенных данных по результатам обработки покрытий усложняет задачи обоснования методов оптимизации параметров резания и разработки новых конструкций инструментов, которые стоят перед наукой о резании. На сегодня, невзирая на чрезвычайную сложность и взаимосвязь факторов влияния на резание покрытий, большинство исследований в нашей стране продолжает базироваться на рекомендациях, разработанных Комиссией по резанию металлов ещё в 1930-е гг. Вследствие этого методы выбора оптимальных условий резания, испытанные на монокристаллических материалах, часто оказываются непригодными при обработке ГТП.

Изучению процессов, сопровождающих формирование поверхностного слоя при механической обработке покрытий, посвящены работы С. А. Клименко, А. Б. Олейникова, Э. В. Рыжова и др. [57, 60, 66, 72, 75]. Причём, и эти работы, и много других, в которых рассматривались вопросы стойкости и износа инструментов из СТМ на основе КНБ, отличало и, к сожалению, продолжает отличать и сейчас разнообразие исследуемых покрытий при отсутствии единой обоснованной методики.

Поэтому за последние годы специально для покрытий были разработаны методы определения скорости резания за критерием оптимальности – пористостью покрытия, вынайжены оригинальные методы определения оптимальной глубины резания, что позволило улучшить качество обработки (Ю. С. Борисов, С. А. Клименко, Э. В. Рыжов [11, 76, 77] и др.). Появился также и ряд оригинальных способов ускоренного определения стойкостных

зависимостей, что дало возможность обеспечить экономию материалов как покрытий, так и инструментов.

На сегодня доказано, что механизм износа инструментов из СТМ определяется несколькими его видами, но доминирующим является химический износ, особенно, если обрабатываемые покрытия имеют в своём составе титан и хром [73], а контакт со стружкой и обрабатываемой поверхностью происходит через жидкую фазу [72, 73].

Изучение механизма хрупкого разрушения режущей части и анализ практических данных позволили рекомендовать для обработки покрытий инструментами на основе КНБ передние углы в диапазоне  $\gamma = 0^\circ \dots (-20^\circ)$  (в зависимости от обрабатываемого покрытия). С учётом структурных особенностей и свойств покрытий получена также и расчетная формула для определения переднего угла [72].

Благодаря оптимизации геометрических параметров режущей части токарных резцов достигнуто более равномерное распределение нагрузок по длине режущих кромок и площади контакта с обрабатываемым покрытием, что обеспечило необходимые прочность и формоустойчивость режущих элементов (работы специалистов фирм „Metco” и „Castolin”) [11, 47].

Усилиями Д. Е. Анельчика, З. И. Кременя, А. М. Пилипенко, В. А. Рыбицкого и др. исследователей [61, 66, 70, 78] были сформулированы основные принципы абразивной и алмазно-абразивной обработки ГТП.

В практику механической обработки покрытий украинскими специалистами введено понятие коэффициента сравнительной эффективности использования инструментальных материалов  $E$  [72]:

$$E = \left( \frac{h_3}{TQ} \right) \left( \frac{TQ}{h_3} \right),$$

где  $Q$  – производительность обработки;  $h_3$  – величина износа по задней поверхности инструмента;  $\varepsilon$  – показатель эталонного инструмента.

Благодаря проведенным украинскими учёными исследованиям постепенно сформировалась новая концепция создания инструментальных материалов для резания покрытий и были определены основные требования к их свойствам [72]:

– уровень физико-механических характеристик должен обеспечивать достаточные прочность и износостойкость в условиях значительных нагрузок и температур резания;

– инструментальный материал должен позволять обеспечивать минимизацию напряжений, возникающих в процессе обработки;

– инструментальный материал должен иметь структуру с мягкой матрицей и твёрдыми включениями (принцип Шарпи);

– состав инструментального материала должен минимизировать эффекты химического взаимодействия с компонентами обрабатываемого материала и внешней среды.

Соблюдение положений этой концепции уже позволило создать новый инструментальный материал, более эффективный при механической обработке ГТП, нежели киборит и гексанит-Р [79].

Кроме этого, трёхступенчатая система выбора инструментального материала для обработки напыленных (и наплавленных) покрытий резанием, также разработанная в Украине, позволила достичь значительного улучшения их обрабатываемости (например, скорости резания возросли в 1,3...6,0 раз) [72]. Она предусматривает:

1. Подбор инструментальных материалов на основе сравнения твёрдостей обрабатываемого и обрабатывающего материалов.

2. Предварительный выбор из этого ряда наиболее износостойких материалов.

3. Экспериментальное сравнение (в том числе, и по разработанным в последнее время экспресс-методикам) предварительно выбранных инструментальных материалов и окончательный выбор такого, который удовлетворяет большинству выдвинутых к нему требований.

С использованием этой методики были разработаны обобщённые рекомендации по выбору инструментов для резания покрытий, входящих в классификатор Международного института сварки.

Благодаря изменениям в 1980 г. подходов к усовершенствованию техники напыления удалось улучшить эффективность применения инструментальных СТМ на операциях окончательной обработки покрытий, что открыло перспективы реализации новой концепции её развития, основывающейся на обеспечении технологических свойств напыленных покрытий, как правило, без ухудшения эксплуатационных характеристик последних, с учётом возможностей существующих инструментальных материалов (или с одновременной разработкой требований к инструментам, специально создаваемым для обработки новых покрытий) [45]. Негативные последствия возможного некоторого ухудшения физико-механических характеристик покрытий при таком подходе удаётся компенсировать влиянием на свойства поверхностного слоя именно обработки инструментами из СТМ. Проведение комплексных исследований по созданию напыляемых материалов совместно с разработкой для них соответствующих инструментальных материалов (а также инструментов с определёнными геометрическими параметрами) и способов обработки постепенно становится характерным для практики разработки новых ГТП (работы Всероссийского НИИ абразивов и шлифования – г. Санкт-Петербург, Института электро-сварки им. Е. О. Патона НАН Украины, ИСМ, ИПМ и т. д.).

Инструментальные СТМ чрезвычайно эффективно зарекомендовали себя при резании ГТП. Вследствие этого началось расширение использования

покрытий на практике. Сейчас уже можно утверждать, что с освоением процессов резания такими инструментами сформировалась новая стабильная структурная составляющая техники напыления ГТП – средства окончательного формирования покрытий при помощи механической обработки. Реализованы простая и комбинированная схемы применения этих средств. Согласно первой схеме осуществляется классическая механическая обработка (лезвийная, абразивная (алмазно-абразивная) или пластическое деформирование) (при отсутствии необходимости в механической обработке она может реализовываться также путем применения иных видов обработки, например, термической или пропитки маслами), а в случаях использования второй схемы обработка резанием (давлением) совмещается с дополнительным лучевым (или иным) влиянием на покрытие.

Отдельные составляющие техники напыления, находящиеся между собой в причинно-следственной связи, начали являть собой цепь: материал – средства подготовки поверхности под покрытие – генератор газовой струи – покрытие – средства окончательного формирования покрытий.

Ещё в 50-е гг. XX в. было определено, что техника газопламенного и электродугового напыления покрытий позволяет эффективно влиять на эксплуатационные свойства деталей машин при их изготовлении и восстановлении благодаря возможности управления с её помощью геометрическими и физико-механическими характеристиками поверхностей. Эти возможности значительно расширились после внедрения в процессы механической обработки покрытий инструментальных СТМ.

За рассматриваемый период сконструировано также много новых инструментов для резания покрытий. Выявленная на протяжении 70-х–80-х гг. XX в. необходимость обязательного использования для их обработки инструментов из СТМ с дополнительной режущей кромкой  $l_{\text{доп.}}$  ( $\varphi_1 = 0^\circ$ ) или радиусом округления вершины  $r$  [41, 49, 55, 65, 80, 81] позволила на сегодня достичь стойкости, близкой к экономической, обеспечивающей минимальную стоимость операции.

Практика показала, что для обработки покрытий эффективнее всего применять инструменты с как можно высшей надёжностью механического крепления режущих пластин. С учётом этого совершенствовались токарные резцы, – их оснащали специальными подложками под режущую пластину и устройствами, улучшающими крепление режущих элементов [82]. Удалось также сконструировать режущие пластины, которые позволили увеличить суммарную стойкость инструментов.

Для пластического деформирования в сопровождении трения были усовершенствованы инструменты, при помощи которых реализуется этот процесс, создан инструмент для отделочной обработки покрытий алмазным выглаживанием в сопровождении резания [83, 84].

Освоение инструментальных СТМ позволило, во-первых, на протяжении 1970–1990-х гг. резко интенсифицировать процессы лезвийной обработки и

шлифования покрытий, во-вторых, – во многих случаях вообще успешно заменить шлифование лезвийной обработкой, а также начать обработку плоских напыленных поверхностей [40, 46, 50, 51, 72, 80, 81].

С этого времени основные акценты в механической обработке покрытий смещаются на лезвийную обработку. Объёмы её применения начали, хотя и медленно, но неуклонно возрастать, тогда как объёмы шлифования – уменьшаться. Началось формирование **этапа лезвийной обработки ГТП** (см. рис. 2), который отличает, помимо сказанного выше (т. е., увеличения объёмов лезвийной обработки по сравнению с абразивной), также и обеспечение возможности достижения необходимого качества деталей машин с покрытиями как по геометрическим параметрам, так и по физико-механическим свойствам поверхностного слоя.

В последние годы, в связи со значительным улучшением физико-механических свойств ГТП, их обработка идёт по пути всё большего внедрения комбинированных методов с использованием дополнительного внешнего энергетического влияния (в частности, вибраций и ультразвука).

Обобщая вышеизложенное, можно констатировать, что следствием освоения процессов пластического деформирования, шлифования и лезвийной обработки напыленных покрытий стала необходимость решения вопросов, связанных с увеличением прочности их сцепления с основой. К тому же, освоение инструментальных СТМ создало условия для разработки концепции комплексного развития техники напыления, которая объединяет мероприятия по улучшению технологических свойств покрытий с возможностями имеющихся или специально спроектированных инструментов для их механической обработки, а также позволило успешно решать при помощи техники напыления ГТП задачи нового технологического направления, получившего название “инженерия поверхности”.

**Список литературы:** 40. *Козлов Д.А.* Ремонт и межремонтное обслуживание металлорежущих станков. – Минск: Госиздат БССР, 1961. – 342 с. 41. *Литвинович Н.Ф.* Обработка твёрдосплавных покрытий. – М.: НИИТЭХИМ, 1983. – 42 с. 42. *Левченко Н.В., Гикало А.П.* Обрабатываемость износостойких покрытий // Внедрение прогрессивных методов восстановления изношенных деталей сельскохозяйственных машин: Тез. докл. обл. науч.-практической конф., 1982 г., г. Ровно. – Ровно: Б. и., 1982. – С. 14–15. 43. *Корнийчук А.И.* Исследование обрабатываемости резанием покрытий из самофлюсующихся твёрдых сплавов // Наука и техника: Краткие тез. докл. обл. науч.-производственной конф., посвящённой 110-й годовщине со дня рождения В.И. Ленина, апрель 1980 г., г. Житомир. – Житомир: Б. и., 1980. – С. 23–24. 44. *Новиков Н.В.* Эдуард Вячеславович Рыжов: развитие технологической науки в ИСМ НАН Украины // Технологическое управление качеством поверхности деталей: Сб. науч. тр. – К.: АТМ Украины, 1998. – С. 9–16. 45. *Тов. Карюк Г.Г.* (зам. директора Института материаловедения) // Восстановление и упрочнение деталей машин от износа методами покрытий и наплавки износостойкими порошками: Матер. науч.-практической конф. на базе Навойского горнометаллургического комбината, май 1980 г., г. Навои. – Навои: Б. и., 1980. – С. 117. 46. *Яцерицын П.И., Ерёмченко М.Л., Фельдштейн Е.Э.* Теория резания. Физические и тепловые процессы в технологических системах. – Минск: Вышэйшая школа, 1990. – 512 с. 47. *Рекомендации по обработке покрытий фирмы „Кастолин“.* Проспект. – Женева: Б. и., 1984. – 24 с. 48. *Новый инструментальный материал „Amborite”* // Достижения науки, техники и

технологии для станкостроения: Оперативная инф. – М.: ВНИИТЭМР, 1989. – С. 11–12.

**49.** *Лезвийный инструмент из сверхтвёрдых материалов* / Н.П. Винников, А.И. Грабченко, Э.И. Гриценко и др.; Под общ. ред. акад. АН УССР Н.В. Новикова. – К.: Тэхника, 1988. – 118 с.

**50.** *Инструмент для токарной обработки деталей, упрочнённых наплавкой и напылением* / Э.В. Рыжов, Ю.А. Муковоз, С.А. Клименко, Ю.Н. Гончаренко // Восстановление деталей сельскохозяйственных машин, тракторов и автомобилей: Экспресс-инф. – М.: АгроНИИТЭИТО, 1986. – Вып. 6. – С. 10–12.

**51.** *Клименко С.А., Коломиец В.В.* Точение защитных покрытий // Инструмент. – 1997. – № 7. – С. 8–9.

**52.** *Сверхтвёрдый инструментальный материал киборит и области его применения* / Н.В. Новиков, А.А. Шульженко, Н.П. Безенарь и др. // Инструментальный світ. – 2002. – № 1. – С. 10–12.

**53.** *Шульженко А.А., Клименко С.А.* Поликристаллические сверхтвёрдые материалы в режущем инструменте. Часть 2. Применение ПСТМ в режущих инструментах. Режимы обработки // Там же. – 1999. – № 6. – С. 10–12.

**54.** *Донской А.В., Клубникин В.С.* Электроплазменные процессы и установки в машиностроении. – Л.: Машиностроение, 1979. – 221 с.

**55.** *Юшков В.В.* Опыт внедрения абразивной и алмазной обработки при восстановлении деталей машин. – М.: Машиностроение, 1989. – 64 с.

**56.** *Обрабатываемость износостойких покрытий шлифованием* / З.И. Кремень, М.Н. Голованова, В.З. Гузель, В.А. Песин // Интенсификация процессов абразивной обработки и повышение качества деталей: Сб. науч. тр. – Л.: ВНИИАШ, 1998. – С. 3–9.

**57.** *Рыжов Э.В., Харченко В.С., Бугаев И.А.* Финишная обработка твёрдых покрытий // Пути повышения производительности, качества и эффективности процессов абразивной, алмазной и эльборовой обработки в машиностроении: Тез. докл. Всесоюз. науч.-техн. конф., 23–25 ноября 1976 г., г. Москва. – М.: ЦИ НТО „Машпром“, 1976. – С. 73–75.

**58.** *Маджуго В.Е., Яковлев Г.М.* Алмазное шлифование самофлосующихся твёрдых сплавов // Машиностроение: Сб. ст. – Минск: Вышэйшая школа, 1978. – Вып. 1. – С. 112–114.

**59.** *Cotton I.N., Ridding T.L.* The finishing of hard wear resistant coatings with diamond // Industry Diamond Rev. – 1968. – № 336. – P.p. 430–434.

**60.** *Рыжов Э.В., Суслов А.Г., Фёдоров В.П.* Технологическое обеспечение эксплуатационных свойств деталей машин. – М.: Машиностроение, 1979. – 179 с.

**61.** *Кремень З.И.* Современные абразивные инструменты для обработки изделий с износостойкими покрытиями // Технология ремонта, восстановления, упрочнения и обновления машин, механизмов, оборудования и металлоконструкций: Матер. 3-й Всероссийской практической конф.-выставки, 27–28 марта 2001 г., г. Санкт-Петербург. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 2001. – С. 142–125.

**62.** *Бурыкин В.В.* Состояние и эксплуатационные свойства поверхностного слоя напыленных деталей, обработанных лепестковыми кругами // Повышение качества поверхности деталей при физико-механической обработке: Сб. науч. тр. – К.: ИСМ АН УССР, 1990. – С. 47–50.

**63.** *Рыбицкий В.А., Поклады Г.Г.* Алмазно-абразивное шлифование напыленных покрытий // Синтетические сверхтвёрдые материалы: В 3-х т. Т. 3. Применение синтетических сверхтвёрдых материалов / Редкол.: Н.В. Новиков (отв. ред.), Е.К. Бондарев, Б.И. Гинзбург и др. – К.: Наук. думка, 1986. – С. 88–96.

**64.** *Кобяков О.С., Гинзбург Е.Г., Ермоленко Л.М.* Исследование процессов механической обработки износостойких покрытий // Прогрессивные методы обработки труднообрабатываемых материалов: Тез. докл. Республиканской науч.-техн. конф., 12–13 сентября 1989 г., г. Мариуполь Донецкой обл. – Мариуполь: ПО „Азовмаш“, 1989. – С. 15–17.

**65.** *Спицын И.А.* Повышение качества обработки износостойких покрытий: Обзор. – М.: Информарготех, 1991. – 26 с.

**66.** *Анеличик Д.Е., Усов А.В.* Исследование причин трещинообразования при шлифовании деталей с покрытиями // Изв. вузов. Машиностроение. – 1987. – № 11. – С. 72–76.

**67.** *Кремень З.И.* Возможна ли замена карбида кремния зелёного на карбид кремния чёрный? // Инструмент. – 1996. – № 2. – С. 5.

**68.** *Байкалова В.Н.* Выбор характеристик абразивных кругов для обработки твёрдосплавных покрытий // Сб. науч. тр. МИИСП. – М.: МИИСП, 1974. – Т. XI. – Вып. 4. – В II ч. – Ч. I. – С. 20–22.

**69.** *Гайдукевич Н.П., Соколовский Г.С., Ярмук Ю.Ю.* Исследование обрабатываемости износостойкого сплава ПГ-СР4 шлифованием // Машиностроение: Сб. ст. – Минск: Вышэйшая школа, 1979. – Вып. 3. – С. 35–37.

**70.** *Яковлев Г.М., Маджуго В.Е.* Исследование обрабатываемости самофлосующихся твёрдых сплавов абразивными кругами // Машиностроение и приборостроение. – 1975. – № 7. – С. 30–34.

**71.** *Титлянов А.Е., Заранин А.Ю., Фалдина Е.В.* Повышение качества никелевых газотермических покрытий (ГТП) путём механико-термической обработки. – М.: Черметинформация, 1990. – 8 с. – Деп. в Черметинформации 20.03.1990 г., № 5394-чм 90.

**72.** *Клименко С.А.* Основы лезвийной обработки износостойких защитных покрытий: Автореф. дис....д.т.н. – К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 1999. – 37 с.

**73.** *Химическое*

взаимодействие поликристаллов на основе кубического нитрида бора с наплавленным металлом / В.Г. Алёшин, Ю.А. Муковоз, А.А. Смехнов и др. // Доклады АН УССР. Серия А. Физико-математические и технические науки. – 1988. – № 4. – С. 79–82. **74. Виноградов А.А., Муковоз Ю.А., Клименко С.А.** Особенности контактного взаимодействия обрабатываемого и инструментального материалов при точении наплавки ЛС5ХВ3МФС // Сверхтвёрдые материалы. – 1991. – № 2. – С. 42–46. **75. Покладий Г.Г., Олейников А.Б.** Оценка шероховатости обработанной поверхности газотермических покрытий // Там же. – 1988. – № 1. – С. 58–59. **76. Пат. 5507 України.** Способ определения суммарного припуска черного и чистового прохода / Э. В. Рыжов, С. А. Клименко, Л. Г. Полонский и др. – 1994. – Бюл. № 7-1. **77. Вибір умов механічної обробки порошкових захисних покриттів / Л.Г. Полонський, С.А. Клименко, Ю.О. Муковоз, В.Г. Сніцар // Вісник ЖІПІ. – 1996. – № 3. – С. 121–126. **78. Пилипенко О.М.** Вібраційна обробка газотермічних покриттів. – Черкаси: Сіяч, 2000. – 203 с. **79. Микола Васильович Новіков / Уклад. Н.І. Колодницька; Відп. ред. Н.Ф. Колесниченко. – К.: ІНМ НАН України, 2002. – 208 с. **80. Харламов Ю. А.** Обработка резанием деталей с покрытиями. – М.: ВНИИТЭМР, 1991. – 68 с. **81. Конструкции и эксплуатация резов, оснащённых сверхтвёрдыми материалами на основе нитрида бора: Методич. рекомендації. – М.: ВНИИТЭМР, 1987. – 72 с. **82. Пат. 201710 РФ.** Резец Полонских / Л. Л. Полонская, Г.А. Полонский, Л.Г. Полонский. – 1994. – Бюл. № 14. **83. Деклараційний пат. на винахід 49435А України.** Інструмент УБРЮ-1 для уцілювання та вирівнювання товщини газотермічних напилених покриттів і наплавень / Л. Г. Полонський, С. А. Клименко, Л. Танович та ін. – 2002. – Бюл. № 9. **84. Деклараційний пат. на винахід 46439А України.** Інструмент для викінчувально-зміцнювальної обробки / Л. Г. Полонський, В. В. Ковальов, С. А. Клименко та ін. – 2002. – Бюл. № 7.******

*Поступила в редколлегию 28.01.11*

УДК 94 (629.5)(477)

**Н. О. РИЖЕВА**, д. і. н., проф., Миколаївський національний університет  
**ЦИВІЛЬНЕ СУДНОБУДУВАННЯ В УКРАЇНІ У ДРУГІЙ  
ПОЛОВИНІ 20-Х РР. ХХ СТ.**

У статті проаналізовано формування матеріально-технічної бази цивільного суднобудування та розглянуто перші результати у будівництві суден для морського та річкового флотів.

В статье проанализировано формирование материально-технической базы гражданского судостроения и рассмотрено первые результаты в строительстве судов для морского и речного флотов.

The formation of commercial shipbuilding's material-technical base is analyzed in the article and the first results in the construction of ships for maritime and river fleets are reviewed.

В наш час осмислення досвіду побудови суден, накопиченого в 20-ті рр. ХХ ст. дозволить реалізувати програми забезпечення морського та річкового флотів сучасними високотехнічними типами суден. Саме у 20-ті рр. було накопичено як позитивний, так і негативний досвід створення суден швидкими темпами.

У наявній літературі основні напрямки функціонування галузі в Україні в 20-х рр. ХХ ст. подаються у контексті промисловості всього СРСР [1] або аналізуються відповідно до стану окремих суднобудівних заводів республіки [2]. Автор даної статті на основі опрацьованих джерел досліджує провідні тенденції цивільного суднобудування в Україні, визначає можливості використання досвіду минулих років.