

Н.И. Дятчин, В.Д. Гончаров, Барнаул, Россия

## ПРОБЛЕМА ПОВЫШЕНИЯ СТОЙКОСТИ РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ НА РАЗЛИЧНЫХ ЭТАПАХ ИСТОРИИ РАЗВИТИЯ ТЕХНИКИ

*У статті приводяться відомості про розвиток науки різання матеріалів від древніх часів до наших днів, розглядаються тенденції розвитку обробки металів. Проаналізовано етапи розвитку техніки, внесок видатних учених у становлення даної галузі науки.*

*В статье приводятся сведения о развитии науки резания материалов от древних времен до наших дней, рассматриваются тенденции развития обработки металлов. Проанализированы этапы развития техники, вклад выдающихся ученых в становление данной отрасли науки.*

N.I. DJATCHIN, V.D. GONCHAROV

PROBLEM OF INCREASE OF STABILITY OF CUTTING TOOLS AT VARIOUS STAGES OF HISTORY OF DEVELOPMENT OF TECHNICS

*In artecle data on development of a science of cutting of materials from ancient times up to now are resulted, tendencies of development of processing of metals are considered. Stages of development of technics, the contribution of outstanding scientists to becoming the given branch of a science are analysed.*

Режущие инструменты, зародившиеся в качестве орудий труда (каменные топоры, ножи, пилы и др.) и ставшие у истоков цивилизации, прошли в своем развитии через все исторические этапы развития техники, рис. 1, сыграв на каждом из них, исключительно важную роль.

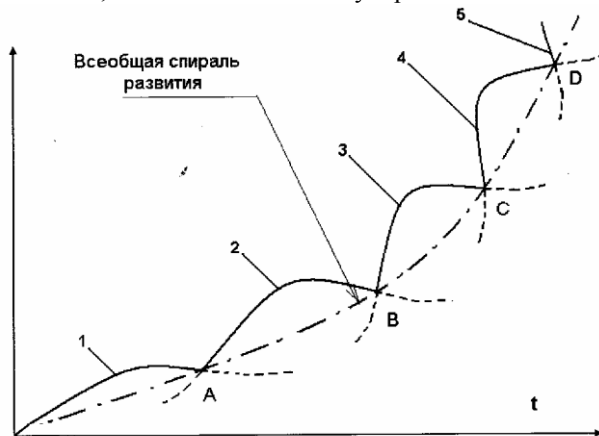


Рисунок 1 – Исторические этапы развития техники: 1– инструментализация (800 тыс. до н.э. – 0 г.), 2 – механизация (0 – 1800 г.), 3 – механизация (1800–1960 г.), 4 – автоматизация (1960–2005 г.), 5 – кибернетизация (2005 г. – н.в.) [1, с. 75–80].

Режущие инструменты провели грань между человеком и остальным животным миром, а клин, с помощью которого и осуществляется процесс резания, стал первым выдающимся изобретением первобытного человека. Именно клин в качестве рабочей (режущей) части (лезвия) инструмента обеспечил возможность его внедрения в обрабатываемый материал и отделения его части за счет расклинивающего эффекта, проявляющегося в виде контактного взаимодействия граней клина с этим материалом. Характер этого взаимодействия определялся физико-механическими свойствами обрабатываемого материала и материала режущей части инструмента, а также скоростью резания и геометрическими параметрами среза, которые менялись на всем протяжении истории развития техники.

Эти изменения не были равномерными и постепенными, а представляли чередование резких революционных периодов с плавными эволюционными. При этом революционные фазы были связаны, как правило, с изобретением новых инструментальных материалов с более высокими режущими свойствами и более приспособленных, к изменяющимся условиям резания. А эволюционные изменения осуществлялись в основном за счет изменения, в сторону улучшения, физико-механических свойств материала режущего клина и его геометрии. Историческая панорама чередования указанных изменений в форме известных экспоненциальных кривых зависимостей возрастания скоростей резания по мере оснащения металлорежущих инструментов новыми инструментальными материалами и их совершенствования за период с 1860 по 2000 годы, захватывающие этапы механизации и автоматизации, рис. 1, представлены на рис. 2.

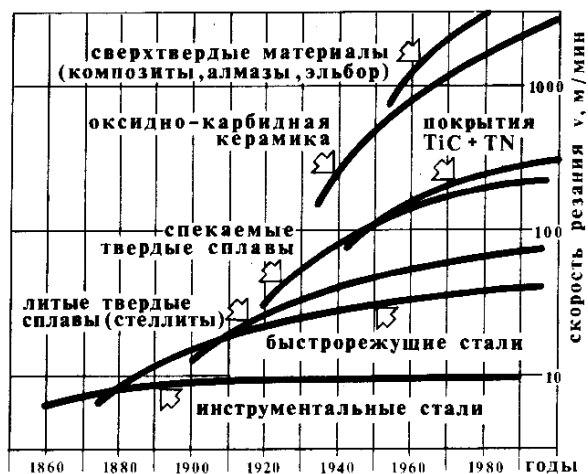


Рисунок 2 – Возрастание скоростей резания по мере оснащения режущих инструментов новыми инструментальными материалами и их совершенствования

Металлорежущие инструменты появились тогда, когда человек научился добывать железо и получать из него сталь. Первыми начали систематически выплавлять железо из руд в достаточном количестве халибы, жившие в Закавказье около 1500 г. до н.э. Затем была освоена технология получения сварного железа, его науглероживания и закалки на территории нынешней Армении (ок. 14 в. до н. э.), а потом и скифами Причерноморья (ок. 10 в. до н.э.). С этого времени началось интенсивное распространение железа и бурное развитие ремесленного производства в Европе, наступила эпоха «железного меча». По словам К. Маркса, сталь дала «ремесленнику орудия такой твердости и остроты, которым не мог противостоять ни один камень, ни один из известных тогда металлов».

В V–VI вв. до н.э. славились своими сортами стали многие районы Греции и Малой Азии, которые во времена Александра Македонского подразделялись на: лаконийскую – для изготовления сверл и напильников, лидийскую – для мечей и др. видов холодного оружия, синопскую – для плотницких инструментов и т.п. Лучшие сорта римских сталей содержали, как правило, больший процент углерода, чем греческие. А в 4 в. до н.э. начало применяться точение на токарных станках с помощью ручных резцов, что можно считать истоками зарождения резания металлов [2].

Однако резание металлов зародилось не на пустом месте – ему предшествовал многовековой период овладения искусством резания различных неметаллических материалов, легче поддающихся резанию (дерева, рога, кости и др.). Из всех природных материалов первое место в качестве конструкционного, вплоть до наступления этапа механизации, рис. 1, безусловно, принадлежало дереву. Тысячелетиями наживаемый опыт резания дерева и резьбы по дереву стал потом важной базой для зарождения науки о резании металлов, основоположником которой по праву считается И.А. Тиме, защитивший в 1870 г. диссертацию на тему «Сопrotивление металлов и дерева резанию».

Стойкость металлорежущих инструментов, применявшихся в качестве слесарных и ручных на станках, была проблемой, решаемой вплоть до настоящего времени в рамках режущих свойств высокоуглеродистой инструментальной стали для условий обработки на малых скоростях и незначительных нагрузках на режущий клин. До этапа механизации, когда подавляющая часть механизмов и др. технических устройств изготавливались из дерева и из-за их больших размеров часто назывались «машинами», металлы, стоившие чрезвычайно дорого, применялись лишь в исключительных случаях, для особо ответственных деталей, не считая оружия и инструментов. Формообразование таких деталей ограничивалось литьем или свободной ковкой, которые сейчас обычно относят к заготовительным операциям, используемым при производстве заготовок. Для получения большей точности и чистоты контактирующих поверхностей применялась лишь в исключительных случаях абра-

живная обработка при помощи шлифовальных кругов и брусков, а также слесарная опиловка напильниками.

Проблема прочности и стойкости рабочей части металлорежущих инструментов сразу обострилась, как только изменилась энергетическая основа производства и на смену биологической энергетике в виде мускульной силы человека и тягловой силы животных пришла, в результате второй энергетической революции (первой энергетической революцией считается изобретение огня), природная энергетика воды и ветра. Водяное колесо стало приводить в действие не только мельничные жернова, но и режущие инструменты и, прежде всего, для обработки ружейных и пушечных стволов, где главными операциями стали сверление и растачивание их каналов. Начали появляться соответствующие предприятия мануфактурного типа, как например вступившая в строй в 1649 на р. Яуза под Москвой первая в Европе «ствольная мельница» для обработки пушечных стволов. Затем в 1712 г. на Олонецком оружейном заводе был создан целый станочный комплекс с приводом от водяного колеса; на Тульском оружейном заводе в последующие несколько лет В. Гениным, Я. Батищевым и др. мастерами были построены высокопроизводительные многошпиндельные горизонтально-сверлильные («вертельные») и др. станки для обработки ружейных стволов [2].

Резко возросла не только скорость резания, но и силы резания, для восприятия которых вначале стали применяться специальные «поддержки» и «держалки», а затем в 1729 г. А.К. Нартовым был изобретен самоходный суппорт, на смену которому в 1794 г. пришел изобретенный Г. Модсли «крестовый» суппорт, близкий к современному. По этому поводу К. Маркс писал: «Это механическое приспособление заменяет не какое-либо особенное орудие, а саму человеческую руку, которая создает определенную форму, направляя, подводя резец и т.д. к материалу труда, например к железу. Таким образом, стало возможным придавать геометрические формы отдельным частям машин с такой степенью легкости, точности и быстроты, которую не смогла бы обеспечить и самая опытная рука искуснейшего рабочего».

Накопленный опыт токарной обработки был обобщен в изданной в 1701 г. работе Плюмье «Искусство точения», которая в 1716 г. по распоряжению Петра I была переведена на русский язык. Примечательно, что в вышедшей через сотню лет (в 1906 г.) в США книге Ф. Тейлора «Искусство резать металлы», и также переведенной на русский язык (в 1909 г.), резание металлов тоже представлялось именно искусством, а не наукой. В этой книге Тейлор, на основе обобщения накопленного в металлообработке производственного опыта, впервые установил эмпирическую зависимость между скоростью резания  $v$  и стойкостью режущего инструмента  $T$  и представил ее в виде степенной функции:  $T = A / v^m$ , где  $A$  – коэффициент, учитывающий физико-механические свойства обрабатываемого материала [3]. Приведенная эмпирическая формула стала основой разработанных в 1936 г., «Комиссией по резанию металлов»

при Техническом Совете НКТП под председательством проф. Надеинской Е.П., нормативов режимов резания, которые и сейчас широко используются в вузах и на машиностроительных предприятиях страны. Эти нормативы и до настоящего времени, несмотря на продвинувшуюся далеко вперед науку о резании металлов [4], представляют степенные зависимости, полученные эмпирическим путем.

Зарождение науки о резании материалов началось практически одновременно с развертыванием поисков новых инструментальных сталей, поскольку углеродистые, допускающие скорости резания не более 8–10 м/мин, окончательно перестали удовлетворять производство, особенно после перевода станков на паровой привод, когда с последней четверти XVIII в. начало разворачиваться серийное производство паровых машин Д. Уатта. Стремительное развитие машиностроения в эпоху промышленной революции конца XVIII – начала XIX вв. и необходимость обработки материалов с повышенными механическими свойствами, а также резкое повышение требований к точности обработки и стабильности процесса резания, ставили перед резальщиками новые и все более сложные проблемы, которые уже невозможно было решать только эмпирическим путем. И указанные проблемы стали разрешаться с помощью науки по двум основным направлениям: 1 – расширением ассортимента и улучшением физико-механических свойств инструментальных материалов; 2 – совершенствованием режимов резания и конструкций инструментов и, прежде всего, геометрии их режущей части.

Развитие первого направления базировалось на достижениях металлургии и зарождении, благодаря трудам отечественных ученых П.П. Аносова и Д.К. Чернова, науки металловедения и теории термической обработки. В их основе был заложен, разработанный Аносовым металлографический метод исследования структуры металлов, который позволил научным путем раскрыть утерянный секрет изготовления булатной стали, представленный в 1841 г. в его книге «О булатах» [5]. А второе направление базировалось на изыскании новых составов инструментальной стали, взамен углеродистой. И первых успехов добился англичанин Р. Мешет (Мюшет), обративший внимание на открытый в 1781 г. К. Шееле вольфрам. После долгих поисков и многочисленных опытов он разработал в 1856 г. вольфрамово-марганцовистую, содержащую 5% вольфрама, инструментальную сталь с добавкой хрома. Сталь «мешет» оказалась не намного тверже высокоуглеродистой, но более теплостойкой, что позволило поднять скорости резания более чем в полтора раза, а при обработке материалов повышенной твердости – почти в 2 раза.

Успешно конкурировать с «мешет» могла в то время лишь сталь фирмы Мидвель, которую упомянутый выше Тейлор и взялся совершенствовать. И в 1900 г., ничего не меняя в составе стали «мидвель» и лишь используя закалку при температуре, близкой к точке плавления ( $1270^{\circ}\text{C}$ ), он обеспечил ей чрезвычайно важное свойство, названное тогда «красностойкостью». Под этим

термином подразумевалась теплостойкость, позволяющую стали сохранять высокую твердость при высоких температурах, развивающихся при резании на высоких скоростях. Впоследствии, также эмпирически, Тейлором и Уайтом был подобран оптимальный состав этой инструментальной стали, названной «быстрорежущей», содержащей: 18% вольфрама, 5% хрома и немного ванадия. Она и произвела настоящую революцию в резании металлов.

Резцы из «быстрорежущей» стали могли работать с фантастической для того времени скоростью – до 40 м/мин. и выше. В дальнейшем с применением металлографического метода удалось уже научным путем раскрыть секрет скачкообразного роста ее режущих свойств. Он был связан с образованием карбидов при высокотемпературной закалке – в основном это был карбид железа или цементит, поскольку железо являлось основным компонентом «быстрорежущей» стали. Внедрение ее в производство произвело революцию в станкостроении и в машиностроении в целом, поскольку применявшиеся ранее станки оказались слишком тихоходными и недостаточно жесткими – потребовалась их коренная реконструкция. И это также потребовало научного подхода, который проявился в разработке нашим соотечественником акад. Гадиным А.В. теории построения чисел оборотов шпинделей металлорежущих станков по геометрической прогрессии.

Однако «быстрорежущая» сталь, по сравнению с углеродистой, оказалась слишком дорогой и не могла вытеснить ее полностью. В инструментах, работающих при малых скоростях резания, в частности слесарных, углеродистая сталь и сейчас используется достаточно широко, поскольку по твердости она не намного уступает «быстрорежущей», значительно превосходя ее по экономичности. А для экономии дорогостоящей «быстрорежущей» из нее изготавливают в основном пластинки, напаиваемые на державки инструмента. Такой напайной быстрорежущий инструмент и сейчас сохранил за собой ведущую роль для умеренных режимов резания и при обработке материалов относительно невысокой твердости, особенно при нестабильной нагрузке в процесс резания, требующей высокой прочности режущего клина. Дальнейшие усовершенствования быстрорежущей стали, после ее изобретения осуществлялось в направлении расширения номенклатуры ее марок, наиболее полно удовлетворяющих конкретным условиям обработки.

Одновременно с поисками новых инструментальных сталей шло зарождение и развитие науки о резании материалов, где приоритет, бесспорно, принадлежит русским ученым. Вслед за вышеупомянутой работой Тиме, заложившей основы теории резания и механизма стружкообразования, в 1893 г. К.А. Зворыкин, изобретя динамометр, провел исследования энерго-силовых параметров процесса резания и опубликовал свой классический труд «Работа и усилия, необходимые для отделения металлических стружек». Затем Я.Г. Усачев изобрел в 1912 г. термомпары, исследовал температуры в зоне ре-

зания и выполнил ее металлографический анализ, заложив основы теплофизики резания [6].

Широкое распространение высокопрочных и легированных сталей, отбеленных чугунов и др. труднообрабатываемых материалов, в связи с бурным развитием механизации в начале XX в. и необходимость повышения производительности процесса резания, заставили интенсифицировать поиски новых, более стойких инструментальных материалов. К этому времени в производстве появились высокотемпературные электропечи, позволяющие выплавлять тугоплавкие материалы и одним из первых в 1898 г. был синтезирован карборунд. Это был карбид кремния, твердый и химически стойкий материал, уступающий в то время по твердости лишь алмазу и получивший вначале наибольшее применение для заточки металлорежущих инструментов.

Также на карбидной основе был разработан в 1907 г. в США немцем Хайнсом и стал производиться его фирмой литой твердый сплав «стеллит» (от лат. Stella – звезда). Он содержал в своем составе 50% кобальта, 13–17% вольфрама, хром, молибден и др. карбидообразующие элементы, за исключением железа, а потому был очень дорог. Но он обладал высокой твердостью, приближающейся к твердости алмаза, и теплостойкостью (до 1100<sup>0</sup> С), а также износоустойчивостью и коррозионной стойкостью. Это позволило повысить скорости резания, по сравнению с «быстрорежущей» сталью вдвое. И хотя «стеллит» был весьма хрупок, тем не менее, он более 20 лет успешно конкурировал с «быстрорежущей» сталью, используя преимущественно на чистовых операциях. И сейчас «стеллит» и стеллитоподобные материалы, в которых, для снижения стоимости, кобальт был заменен на никель, а молибден на кремний, достаточно широко применяются в литом виде и для наплавки деталей машин, газовых турбин, а также и для изготовления и наплавки некоторых видов инструментов.

В 1914 г. Ломаном в Германии был разработан на основе карбида вольфрама твердый сплав «ломанит», отличающийся исключительной твердостью, почти достигающей твердости алмаза. Но он был так же, как и «стеллит», чрезвычайно хрупок, очень дорог и не получил широкого распространения. Поэтому все дальнейшие исследования были направлены на снижение хрупкости твердых сплавов, даже ценой понижения их твердости, причем наиболее успешными они оказались в Германии. Один из первых патентов на твердый сплав был закуплен у немцев даже американской фирмой «Карбалой». В результате твердый сплав с 1916 г. стал получать все большее распространение и, прежде всего, в конструкциях бурового инструмента, подверженного наиболее интенсивному абразивному износу. Но в гитлеровской Германии, жаждущей реванша и наращивающей производств вооружений, оснащение твердым сплавом металлорежущих инструментов было возведено в ранг стратегической проблемы.

Результатом интенсивных поисков твердого и износостойкого материала для волок (фильер), предназначенных для протягивания тончайших вольфрамовых нитей электроламп, стала разработка в 1920 г. в лаборатории немецкой электротехнической фирмы «Осрам» металлокерамических твёрдых сплавов. И сразу же этим изобретением заинтересовалась фирма Круппа, производящая вооружение. Она скупил патенты на новый материал и в 1927 г. выпустила на рынок пластинки из полученного в 1923 г. твердого сплава «Видиа», что означало «как алмаз» (от первых букв *Wie Diamant*). В основе производства металлокерамических твердосплавных пластинок был заложен метод порошковой металлургии, разработанный еще в 1826 г. П.Г. Соболевским и В.В. Любарским для изготовления монет из порошка платины методом пресования и последующего спекания. А самым ранним аналогом стала технология керамического производства (от греч. *keramos* – глина), состоящая в формовании и последующем обжиге изделий из тонкоизмельченных глин и их смесей с минеральными добавками, зародившаяся еще в четвертом тысячелетии до н.э. – недаром утверждают, что новое, это хорошо забытое старое.

Чуть позже на заводе «Редкие элементы» был получен отечественный твердый сплав под названием «рэлит», а в 1929 г. на Московском электроламповом заводе началось производство твердого сплава вольфрамо-кобальтовой группы марки «победит» из монокарбида вольфрама (90%) и кобальта (10%). Термин «победит» и по сей день используется производителями, но совсем позабыты названия других, успешно конкурировавших с ним отечественных твердых сплавов: «Муромец», «Святогор», «Добрыня», «титанит» и др. В дальнейшем развитие металлокерамического режущего инструмента шло в направлении расширения номенклатуры и появления вольфрамо-титано-кобальтовой и вольфрамо-титано-тантало-кобальтовой групп, а также их различных модификаций, наиболее полно удовлетворяющих конкретным условиям обработки.

Твердый сплав, имея высокую твердость и красностойкость в пределах 850–900<sup>0</sup> С, обеспечивал скорости резания до 300 м/мин и производительность обработки в 5 раз большую, по сравнению с «быстрорежущей» сталью. Металлокерамическому инструменту стала посылкой обработка самых твердых легированных сталей и сплавов. И это была очередная революция в обработке материалов резанием, поскольку каждое такое скачкообразное повышение скоростей резания, рис.2, требовало коренного изменения конструкций металлообрабатывающих станков, их непрерывного совершенствования и модернизации, изменения форм организации производства.

Однако твердый сплав был весьма дорог из-за наличия вольфрама, кобальта, титана, тантала и др. дорогостоящих компонентов, поэтому начались интенсивные поиски их заменителей. И здесь инструментальщики вспомнили о микролитах – каменных пластинках, массовое производство которых было налажено еще в мезолите, а технология керамического производства была

уже хорошо отработана при изготовлении металлокерамических твердосплавных пластинок. И с 1932 г. на фарфоровом заводе им. Ломоносова была начата разработка минералокерамического твердого сплава, основой которого стал корунд – минерал кристаллического строения, состоящий из оксида алюминия  $\text{F}_2\text{O}_3$ . Он получался из технического глинозема в электропечах при высокой температуре, в связи с чем получил название электрокорунда или термокорунда.

Термокорунд, обладающий чрезвычайно высокой теплостойкостью, порядка  $1500^{\circ}\text{C}$ , был получен в Ленинградском ВНИИ абразивов и шлифования. Из него были изготовлены пластинки и в 1947 г. испытаны резцы, ни в чем не уступавшие новейшим сверхтвердым сплавам. Еще более стойкие «микролиты» были спечены в Московском химико-технологическом институте под руководством И.И. Китайгородского из мельчайшего, размером не более 2 мкм, корундового порошка. С помощью резца, оснащенного такой микролитовой пластинкой, токарь-скоростник П.Б. Быков в 1952 г. установил мировой рекорд скорости резания (3200 м/мин) при точении чугунной заготовки – она в 100 с лишним раз превышала достигнутую Тейлором при резании резцом из быстрорежущей стали.

Но, превосходя металлокерамику по твердости, теплостойкости и износостойкости, из-за отсутствия схватываемости с обрабатываемым металлом (адгезии), минералокерамика, выпускаемая в СССР под маркой ЦМ-332, имела и существенные недостатки – это, прежде всего, хрупкость, а также невозможность заточки и напайки пластинок на державку. Поэтому она смогла заменить металлокерамику при стабильных условиях резания – в основном на чистовых операциях. Попытки устранить указанные недостатки привели к разработке керметов, представляющих минералокерамику с добавлением карбидов вольфрама, титана и молибдена, входящих в состав металлокерамики. В результате пластинки, близкие по удельному весу к минералокерамике, приобрели черный цвет, их прочность, по сравнению с минералокерамикой, повысилась, а теплостойкость, наоборот, снизилась до  $1300^{\circ}\text{C}$ . В результате выигрыш оказался не столь большим, поскольку пластинки из кермета, выпускаемые под марками ВОК-60, ВОК-63 и В-3, можно было крепить только механическим путем или наклеивать и нельзя было затачивать. Их применение также ограничилось в основном областью тонкой окончательной обработки, а потому и они не смогли существенно потеснить металлокерамику, как и минералокерамика. В результате ни минералокерамика, ни керметы, ни те и другие вместе не совершили ожидаемого революционного переворота в резании металлов.

Не совершил революции в резании и известный с древности, как самый твердый природный минерал, естественный алмаз, который получил широкое распространение для тонкой («алмазной») обработки резанием лишь цветных металлов и сплавов. Благодаря непревзойденной твердости и высокой тепло-

проводности алмаза, скорость резания достигала 3000 м/мин. Однако после изобретения и налаживания производства синтетических (АС) или искусственных алмазов они практически полностью вытеснили естественные, на долю которых приходится менее 10% производства алмазного инструмента. Это в основном абразивный инструмент, в котором используются алмазы, непригодные для огранки (изготовления бриллиантов).

Заостряя внимание на проблеме получения искусственных алмазов известный ученый А.Л.Ле Шателье в 1908 г. писал: «Синтез алмаза для современного химика столь же заманчивая задача, как получение философского камня для алхимика». Впервые возможность их получения обосновал теоретически в 1939 г. акад. Лейпунского А.И. в работе «Об искусственных алмазах». А получены они были только в 1953 г. группой Лундблата из фирмы ASA в Швеции и сразу же засекречены – поэтому приоритет этого открытия достался американской фирме «Дженерал Электрик», запатентовавшей их в том же году. Однако, как и естественные, искусственные алмазы оказались весьма хрупкими и не выдерживали нагрева выше 700–800<sup>0</sup> С. Но самым главным недостатком всех алмазов является их химическое сродство с углеродом, вследствие которого они оказались малопригодными для обработки углеродосодержащих материалов и, прежде всего, чугуна и стали – сферой их применения в металлообработке осталось резание цветных металлов и сплавов.

Настоящей революцией, даже в области тонкой чистовой обработки, алмазы не совершили, ее произвел кубический нитрид бора (КНБ) под названием «боразон», полученный в 1957 г. Венторфом. В СССР КНБ был синтезирован в 1960 г. в Институте физики сверхвысоких давлений под руководством акад. Верещагина Л.Ф. при температуре около 2500<sup>0</sup> С и давлении до 100 тыс. атмосфер по технологии, сходной с технологией получения синтетических алмазов. Под названием «эльбор» он стал выпускаться в Ленинграде. По твердости «эльбор» был близок к алмазу, а по теплостойкости (1800<sup>0</sup> С) превышал все известные инструментальные материалы, но, самое главное, был нейтральным к углероду железа и позволял обрабатывать резанием закаленные стали и отбеленные чугуны, вытеснив операции их чистовой абразивной обработки. Это выдающееся достижение в области резания металлов совпало с началом нового этапа в истории развития техники – этапа автоматизации, рис.1.

На этапе автоматизации к металлорежущему инструменту, предназначенному для оборудования с высокой стоимостью, станков с ЧПУ и гибких производственных систем (ГПС), стали предъявляться чрезвычайно высокие требования. Они заключались в обеспечении надежности, высокой производительности и точности обработки, гибкости, обеспечения автоматического цикла работы и минимизации потерь времени на подналадку. Наиболее полно этим требованиям в области чистовой обработки отвечал КНБ, практически вытеснивший минералокерамику и керметы, но оставалась наиболее широкая

область режимов резания, обслуживаемая металлокерамикой, не удовлетворяющей требованиям производительности и точности обработки по износостойкости. И эта проблема решалась широким внедрением сборных инструментов со сменными многогранными неперетачиваемыми пластинками (СМП), на рабочие поверхности которых были нанесены износостойкие покрытия. Они позволили, применительно к условиям гибкого автоматизированного производства, создавать многочисленные комбинации инструментов различного назначения с минимальными затратами и максимальной производительностью, высокой надежностью работы и точностью обработки.

Неперетачиваемость СМП позволила оптимизировать их геометрию с точки зрения обеспечения режущих свойств, прочности и жесткости закрепления, а также стабильного завивания, дробления и отвода стружки, а высокая твердость (в 3–4 раза превосходящая твердые сплавы) и теплостойкость покрытия обеспечила возможность осуществлять чистовую обработку на сверхвысоких скоростях резания. Так нанесение покрытий из карбида титана толщиной 5–6 мкм обеспечивало дополнительное повышение стойкости СМП в 3–4 раза. В этом случае износостойкое покрытие, выполняет роль промежуточной среды между режущим клином инструмента и обрабатываемым материалом, способствуя снижению трения, сил резания, контактной температуры и уменьшению тепловой напряженности инструмента, детали и системы резания в целом, снижению интенсивности изнашивания инструмента.

Но еще больший эффект обеспечивает комплексное многослойное покрытие. В результате инструмент приближается к своему «идеальному» состоянию, когда его высокая износостойкость сочетается с необходимой прочностью и вязкостью, что необходимо для обеспечения высокого качества, производительности и надежности процесса резания. Основными методами нанесения износостойких покрытий являются: термодиффузионное насыщение – метод ТДН; физическое осаждение – метод ФОП (PVD); химическое (газофазное) осаждение – метод ХОП (CVD) [7].

Конец этапа автоматизации и начало этапа кибернетизации характеризуется зарождением новейших технологий XXI в. – нанотехнологий и технологий СВС, которые уже начинают внедряться в инструментальное производство и науку о резании металлов [8]. На основе наноалмазов были созданы технологии суперфинишной обработки и полирования, а в ИАЭ им. Курчатова в 2008 г. разработана технология нанесения нанопокртытия путем ионной имплантации инструментов и деталей военной техники, при которой материал покрытия внедряется в кристаллическую решетку материала изделия и делает его более прочным, твердым и практически безизносным.

Абразивный инструмент с использованием карбид-титановых порошков, полученных методом СВС, обеспечил миллионы экономии на операциях шлифования и полирования. А синтетический безвольфрамовый твердый инструментальный материал СТИМ, синтез которого с помощью СВС занимает

40 с., по стойкости и режущим свойствам превосходит вольфрамсодержащие твердые сплавы. Важнейшим направлением является формирование научных и технологических основ создания методом СВС новых алмазосодержащих материалов, возможность которого была впервые доказана проф. Левашовым Е.А.

В АлтГТУ разработаны способы получения: карбидостали, занимающей промежуточное положение между быстрорежущей сталью и металлокерамикой методом СВС-синтеза из карбида титана и железной окалины в качестве отходов кузнечного производства [9, с. 100–104], а также неразъемного соединения легированной карбидостали с конструкционной [10].

**Список использованных источников:** 1. Дятчин Н.И. Периодизация истории развития техники // Известия Алтайского государственного университета. Серия: история, политология. – 2010. – №4/2. 2. Дятчин Н.И. История развития техники: Учебное пособие. – Ростов н/Д: Феникс, 2001. 3. Тейлор Ф. Искусство резать металлы / Ф. Тейлор. Перевод. – СПб.: 1909. 4. Развитие науки о резании металлов / Под ред. Н.Н. Зорева. – М.: Машиностроение, 1967. 5. Мезенин, Н. А. Повесть о мастерах железного дела. – М.: Знание, 1973. 6. Русские ученые – основоположники науки о резании металлов / Под ред. Г.И. Грановского. – М.: Машиностроение, 1952. 7. Залого В.А., Гончаров В.Д. Материалы для металлорежущих лезвийных инструментов: учебное пособие. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2009. 8. Гончаров В.Д. Методологические основы научных исследований и достижения современной науки. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2008. 9. Евтушенко А.Т. Самораспространяющийся высокотемпературный синтез инструментальной стали. // Известия ТПУ. – 2008. – Т. 313. 10. Евтушенко А.Т., Торбунов С.С.. Способ получения неразъемного соединения легированной карбидостали с конструкционной сталью. Патент №2309817 от 22. 06. 2007 г.

*Поступила в редакцию 15.03.2011*

**Bibliography (transliterated):** 1. Djatchin N.I. Periodizacija istorii razviti-tja tehniki // Izvestija Altajskogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: istorija, politologija. – 2010. – №4/2. 2. Djatchin N.I. Istorija razviti-tja tehniki: Uchebnoe poso-bie. – Rostov n/D: Feniks, 2001. 3. Tejlor F. Iskusstvo rezat' metally / F. Tejlor. Perevod. – SPb.: 1909. 4. Razvitie nauki o rezanii metallov / Pod red. N.N. Zoreva. – M.: Mashinostroenie, 1967. 5. Mezenin, N. A. Povest' o masterah zhelezno-go dela. – M.: Znanie, 1973. 6. Russkie uchenye – osnovopolozhniki nauki o rezanii metallov / Pod red. G.I. Granovskogo. – M.: Mashinostroenie, 1952. 7. Zaloga V.A., Goncharov V.D.. Ma-terialy dlja metallorezhuvih lezvi-jnyh instrumentov: uchebnoe posobie. – Barnaul: Izd-vo AltGTU, 2009. 8. Goncharov V.D. Metodologicheskie osnovy nauchnyh issledova-nij i dostizhenija sovremennoj nauki. – Barnaul: Izd-vo AltGTU, 2008. 9. Evtushen-ko A.T. Samorasprostranajuvijsja vysokotemperaturnyj sintez instrumental'noj stali. // Izvestija TPU. – 2008. – T. 313. 10. Evtushenko A.T., Torbunov S.S.. Sposob poluchija neraz#emno-go soedinenija legirovno-j karbido-stali s konstrukcionnoj sta-l'ju. Patent №2309817 ot 22. 06. 2007 g.