

Колесников В. А., к.т.н., доц.

НЕКОТОРЫЕ МАТЕРИАЛОВЕДЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ СТАЛЕЙ И СПЛАВОВ ДЛЯ ТРАНСПОРТНОЙ ОТРАСЛИ. ЧАСТЬ 1

В работе в краткой форме рассмотрены некоторые аспекты, которые касаются механической обработки сталей, которые используются в транспортной отрасли.

Обработка материалов резанием для большинства отраслей продолжает оставаться актуальной и в настоящее время [1 - 12]. В частности, в автомобильной отрасли, несмотря на применение новых материалов и технологий [13 - 16], механическая обработка, широко используется и усовершенствуется одновременно с развитием научных представлений в этой области.

Целью работы являлось, сделать краткий анализ достижений в области прикладного материаловедения для механической обработки сталей и сплавов применяемых в автомобильной отрасли.

Детали автомобиля изготавливают из разных сталей и сплавов (рис. 1) [17]. Кузовные детали первоначально изготавливают с применением технологий: литья, обработки давлением, сварки и т.д.



Рисунок 1 – Пример использования различных сталей и сплавов для изготовления кузовных деталей [17]

В автомобиле имеются детали, которые также необходимо подвергать механической обработке, как в процессе изготовления, так и ремонта. Предпочтение отдавалось низкоуглеродистым листовым сталям, однако, они обладают низкой коррозионной стойкостью. На смену им приходят TWIP стали с содержанием марганца до 20%, что позволило увеличить предел прочности до 1300 МПа и выше (для предыдущего вида сталей этот показатель равнялся 210 – 550 МПа), а относительное удлинение до 70%.

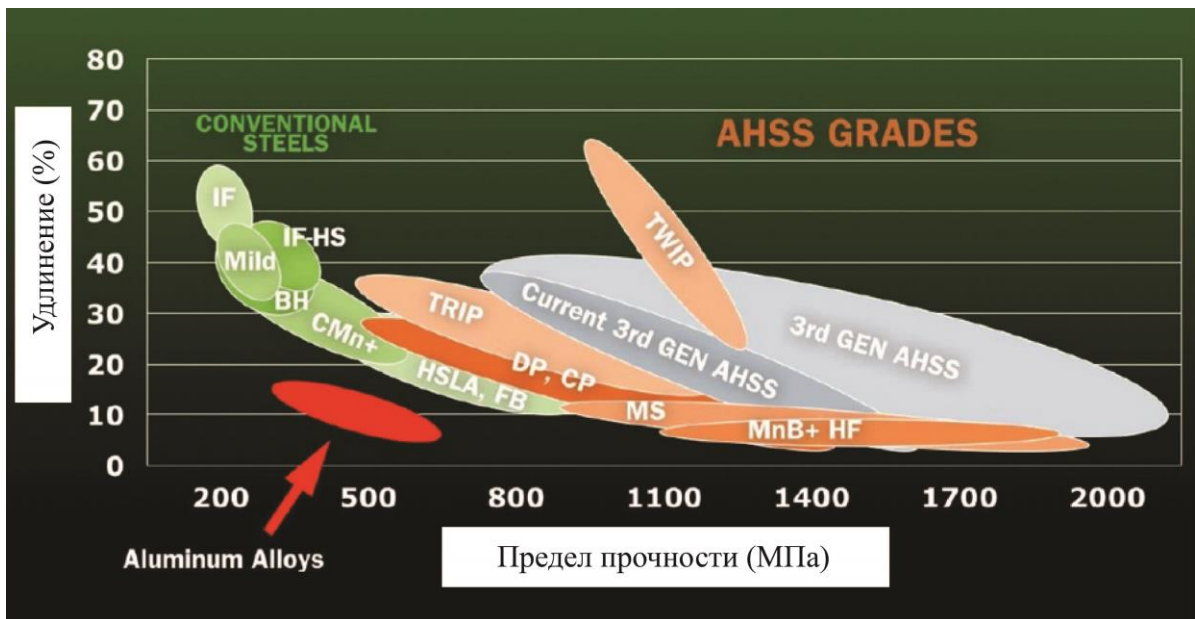


Рисунок 2 – Изменение относительного удлинения и предела прочности для автомобильных сталей и сплавов [18]

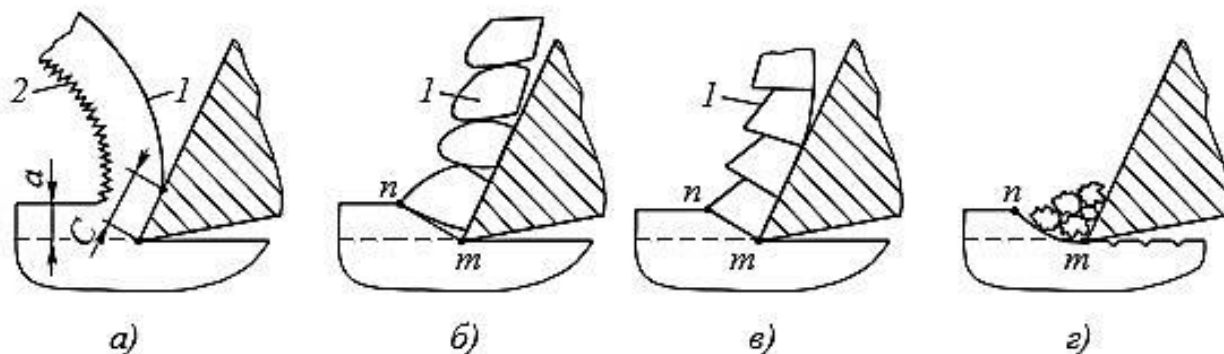
Многие автомобильные детали, должны обладать определенной шероховатостью, что также обуславливает их механическую обработку на металлорежущих станках (рис. 3).



Рисунок 3 – Внешний вид некоторых автомобильных деталей, которые подвергаются механической обработке [19]

Применение новых видов сталей, меняет технологические процессы механической обработки. Одним из индикаторов видов характера разрушения обрабатываемого материала может выступать вид стружки.

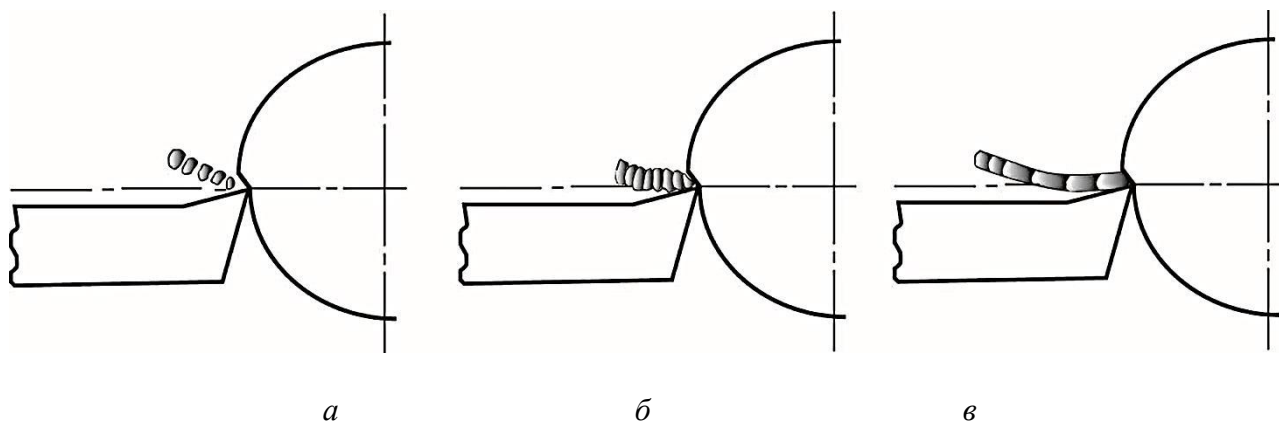
Одни из первых исследований процессов стружкообразования проведены профессором И.А. Тиме в 1870 году в Луганске. Его классификация стружки, оказалась очень удачной и сохранилась в основном и до настоящего времени. Согласно этой классификации по внешнему виду и внутреннему строению при резании конструкционных сталей стружка бывает следующих типов: сливная, элементная, суставчатая и надлома



а – сливная; б - элементная; в – суставчатая; г – надлома

Рисунок 4 – Типы стружек, образующихся при резании металлов [20]

Существует немного сокращенный вариант рис. 5.



элементная (а), ступенчатая (б), сливная (в)

Рисунок 5 – Классификация стружки [21]

Если проводить более конкретную классификацию, то, например, только при обработке стали известно свыше 30 разновидностей стружки (рис. 6). Подобная классификация используется и в стандартах западных стран (рис. 7). Тип стружки во многом зависит от рода и механических свойств обрабатываемого материала. При резании пластичных материалов возможно образование первых трех типов стружки: элементной, суставчатой и сливной. По мере увеличения твердости и прочности обрабатываемого материала сливная стружка переходит в суставчатую, а затем в элементную. При обработке хрупких материалов чаще образуется элементная стружка, или реже – стружка надлома. С повышением твердости материала, например, чугуна, элементная стружка переходит в стружку надлома [22].

Класс 1 – непрерывная								
Неустойчивые виды (лента)				Устойчивые виды (спираль)				
Шпа-га	Гофра	Путанная	Случайная спираль	Плю-ская	Винтовая			
					Телескопи-ческая	Цилиндри-ческая	Косая	Пря-мая
Клас 2 – дробленная								
Лента				Спираль в отрезках многовитковая				
Спираль одновитковая								
Полувитковые элементы спирали								
Связанные полувитки								

Рисунок 6 – Виды сливных стружек при обработке сталей [22, 23]

Из геометрических параметров инструмента наиболее сильно на тип стружки влияют передний угол γ и угол наклона главной кромки λ . При обработке пластичных материалов влияние углов γ и λ принципиально одинаково: по мере их увеличения элементная стружка переходит в суставчатую, а затем в сливную. При резании хрупких материалов при больших передних углах может образовываться стружка надлома, которая по мере уменьшения переднего угла переходит в элементную. При увеличении угла наклона главной кромки стружка постепенно превращается в элементную [22].

1. Стружка ленточная	2. Винтовая трубчатая	3. Стружка спиральная	4. Стружка винтовая открытая	5. Стружка винтовая закрытая	6. Стружка чешуйчатая	7. Стружка элементная	8. Стружка игльчатая
1.1. Длинная	1.1. Длинная	3.1. Плоская	4.1. Длинная	5.1. Длинная	6.1. Связанная		
1.2. Короткая	2.2. Короткая	3.2. Коническая	4.2. Короткая	5.2. Короткая	6.2. Разделенная		
1.3. Спутанная	2.3. Спутанная		4.3. Спутанная	5.3. Спутанная			

Рисунок 7 – Классификация видов стружки по стандарту ISO 3685-1977 [24]

Впервые схему стружкообразования при резании предложил И.А. Тиме (1870 г.), а затем ее развил К.А. Зворыкин (1893 г.). За рубежом (США) эти схемы повторил М.Е. Merchant (1945 г.).

Согласно схеме И.А. Тиме (рис. 8) срезаемый слой толщиной превращается в стружку толщиной путем сдвига бесконечно тонких слоев материала в плоскости OA , расположенной к плоскости резания под углом наклона условной плоскости сдвига Φ . В результате деформации обрабатываемого материала при его переходе в стружку её толщина a_1 становится больше толщины срезаемого слоя a , а ее длина l_1 короче пути l , пройденного резцом. Это явление И.А. Тиме назвал усадкой стружки (коэффициент усадки стружки по длине $K_l = l/l_1$; коэффициент усадки по толщине $K_a = a/a_1$). Главный недостаток схемы И.А. Тиме состоит в том, что она предполагает существование единственной плоскости, в которой происходит деформирование срезаемого слоя.

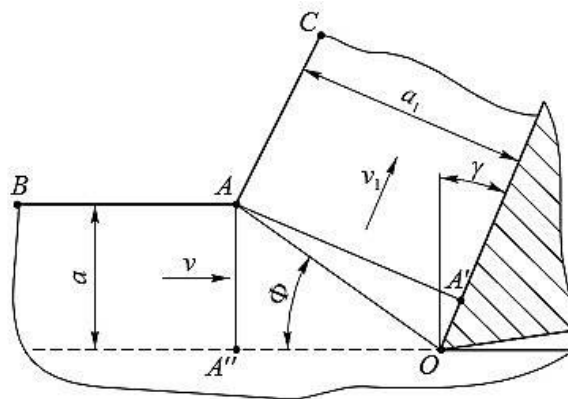


Рисунок 8 – Схема образования стружки с условной плоскостью сдвига [20]

В этом случае в плоскости сдвига OA скорость перемещения частиц материала должна изменяться мгновенно от скорости резания v до скорости перемещения стружки v_1 ($v > v_1$). Тогда в условной плоскости сдвига должны иметь место бесконечно большие градиенты напряжения и ускорения, что противоречит законам механики. В действительности имеется переходная зоны между срезаемым припуском и стружкой [22, 25].

При резании на микроскоростях (несколько мм/мин) высокопластичных металлов (медь, латунь) по искажению делительной сетки, нанесенной на боковую поверхность среза в виде квадратов или окружностей (рис. 9 а), было доказано существование зоны стружкообразования клинообразной формы (рис. 9 б), имеющей начальную OA и конечную OM границы. Было установлено, что процесс пластической деформации начинается впереди резца на границе OL , имеющей криволинейную форму, которая в некоторых случаях располагается даже ниже линии среза. Степень деформации ϵ , рассчитанная по искажению делительной сетки, а также путем измерения микротвердости (Г.Д. Дель) в точках срезаемого слоя от линии OL к линии OM возрастает сначала медленно, а затем в зоне AOM с большей скоростью (здесь OA -условная плоскость сдвига, проведенная из вершины резца в точку пересечения наружных поверхностей заготовки и стружки) [20, 25 - 27].

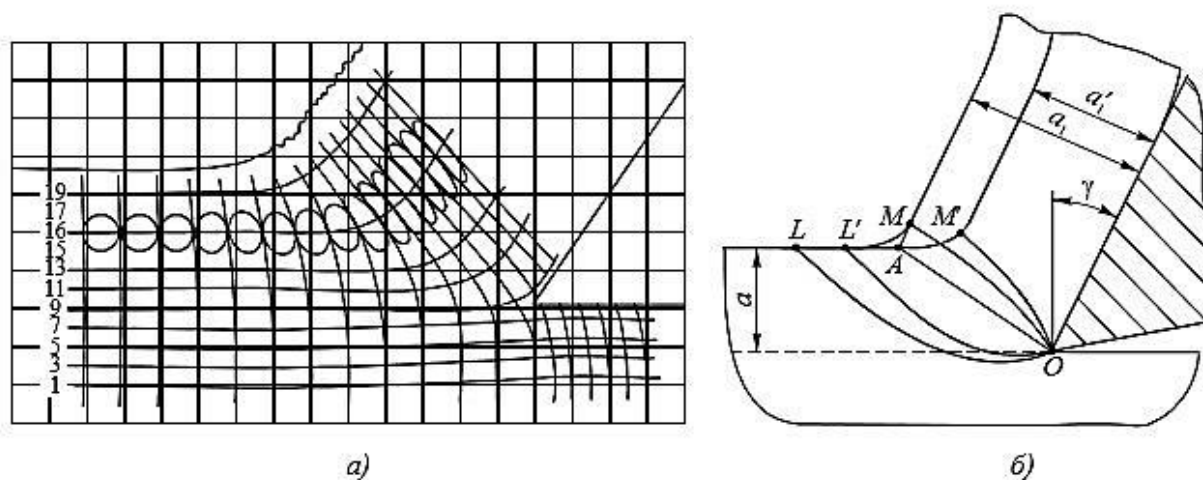


Рисунок 9 – Искажения (а) координатной сетки, полученной методом вдавливания индентора (Г.Л. Куфарев) и схема стружкообразования (б), характерная для обработки на микроскоростях [20]

В отличие от обработки на микроскоростях при резании на обычных скоростях, применяемых в практике, усадка стружки уменьшается, а границы зоны OL и OM поворачиваются по ходу часовой стрелки и сближаются, занимая, соответственно положения OL' и OM' . При этом толщина фактической зоны деформации в районе условной плоскости сдвига составляет десятые доли миллиметра. Поэтому после протравливания кислотой шлифов «корней» стружки эта зона выглядит как плоскость, разделяющая срезаемый слой и стружку. Особенно наглядно это видно по текстуре «корней» стружек, полученных при мгновенной остановке процесса резания сталей. Сужение зоны деформации при резании объясняется тем, что с увеличением скорости резания возрастает скорость деформации $\dot{\epsilon}$, вследствие чего происходит запаздывание пластических деформаций. Это приводит к приближению границы OL к условной плоскости сдвига OA . При этом верхняя граница OM также приближается к условной плоскости сдвига OA , а толщина зоны деформации AOM резко уменьшается [25 - 27].

Тип и вид стружки естественно зависит и от вида обрабатываемой поверхности рис. 10.

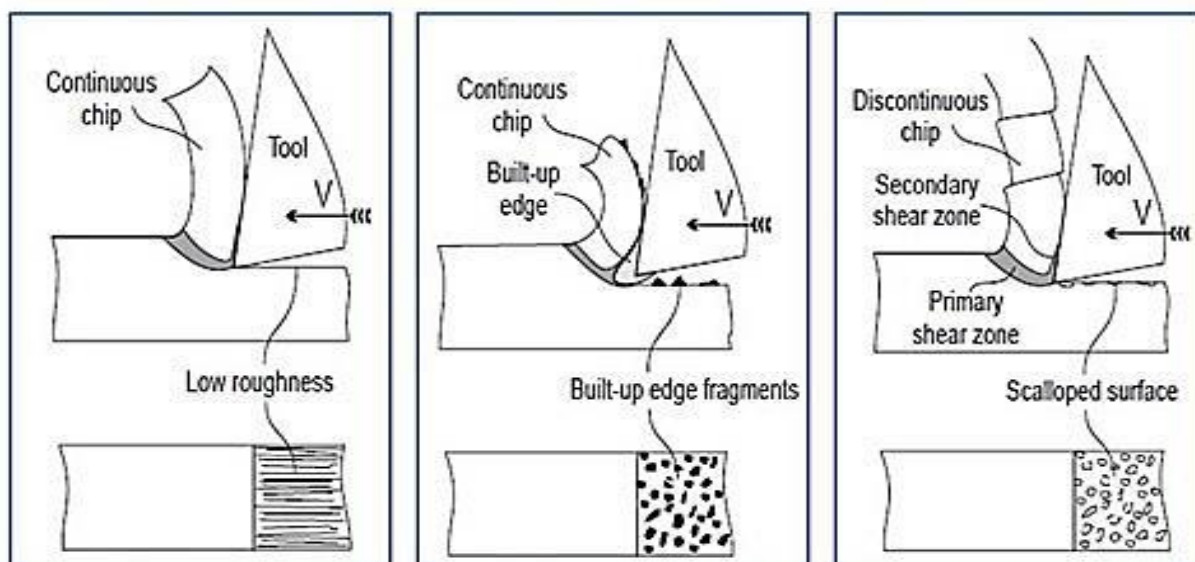


Рисунок 10 – Типы стружек и связь с обрабатываемой поверхностью [28]

Обрабатываемость стали зависит от ее механических свойств, теплопроводности, микроструктуры и химического состава. Допустимая скорость резания снижается с увеличением твёрдости и прочности стали. Затруднительна обработка и слишком пластичных сталей вследствие образования сплошной, трудно ломающейся стружки; при этом на режущей кромке инструмента из-за налипания металла возникает нарост, в результате чего поверхность получается шероховатой, с задирами. Особенно плохой обрабатываемостью отличаются аустенитные стали, которые кроме высокой пластичности и вязкости имеют пониженную теплопроводность. Выделяющаяся при их обработке теплота концентрируется в зоне резания, снижая стойкость инструмента [29].

Повышения обрабатываемости резанием достигают технологическими и металлургическими приемами. К технологическим относят термическую обработку и наклёп. Заготовки среднеуглеродистых сталей подвергают нормализации, так как она формирует наиболее благоприятную с точки зрения обрабатываемости структуру, состоящую из феррита и пластинчатого перлита. Обрабатываемость низкоуглеродистых сталей повышают холодной пластической деформацией, которая, снижая пластичность сталей, способствует получению сыпучей, легко отделяющейся стружки. Более эффективны металлургические приемы, предусматривающие введение в конструкционную сталь серы, селена, теллура, кальция, изменяющих состав и количество неметаллических включений; свинца, создающего собственные включения; фосфора, изменяющего свойства металлической основы. Легко обрабатываемые стали с такими легирующими добавками получили название автоматных. Автоматные стали (ГОСТ 1414–75) применяют для обработки на станках-автоматах и для горячей обработки давлением с дальнейшей обработкой резанием. Автоматные стали классифицируют по химическому составу, видам обработки, назначению и состоянию материала.

По химическому составу стали подразделяют на шесть групп: углеродистые сернистые (А11, А12, А20, А30, А35, А40Г), углеродистые со свинцом (АС14, АС40, АС35Г2, АС45Г2), сернисто-селенистые (А35Е, А45Е), сернисто-селенистые с хромом (А40ХЕ), легированные свинецсодержащие (АС12ХМ, АС14ХГН, АС19ХГН, АС20ХГНМ, АС30ХМ, АС38ХГМ, АС40ХГНМ), кальцийсодержащие (АЦ20–АЦ60, АЦ35Х–АЦ45Х, АЦ35Г–АЦ45Г, АЦ35Г2–АЦ45Г2, АЦ30ХМ, АЦ12ХН3, АЦ20ХН3). По видам обработки сталь делят на горячекатаную, калиброванную, круглую со специальной отделкой поверхности – серебрянку. В зависимости от назначения горячекатаную сталь подразделяют на следующие подгруппы: для горячей обработки давлением; для механической обработки

резанием; для холодного волочения. По состоянию материала различают стали без термической обработки, термически обработанные (Т), нагартованные (Н) – калиброванные в серебрянку. Применение автоматных сталей позволяет в 1,5–2 раза снизить расход инструмента или на 22-30 % сократить машинное время обработки, уменьшив износ инструмента на 30-35 %. Из автоматных сталей изготавливают метизы, в автомобилестроении – вилки включения сцепления, цепи, шестерни привода масляного насоса, валики редуктора привода спидометра, оси дроссельной заслонки, штуцера главного цилиндра тормоза (стали А11, А12, А20), рычаги переключения передач (АС12ХН), оси сателлитов дифференциала, ступицы (АС14ХГН), червяки рулевого управления (АС30ХМ, АСЦ30ХМ) и т. д [29].

Примеры различных видов стружек, полученных в различных технологических условиях представлены на рис. 11 - 12.

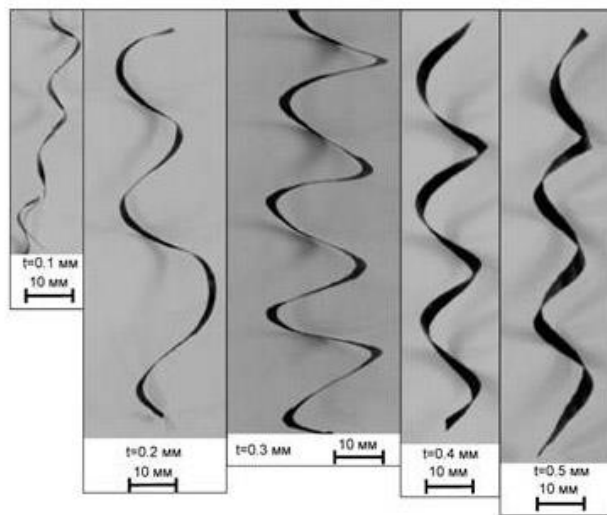


Рисунок 11 – Фотографии стружки, полученной при точении безвершинным резцом с радиусной задней поверхностью при различной глубине резания: $D=40\text{мм}$; $s=0,3\text{мм/об}$; $\omega=45^\circ$; $V=100\text{ м/мин}$ [30]

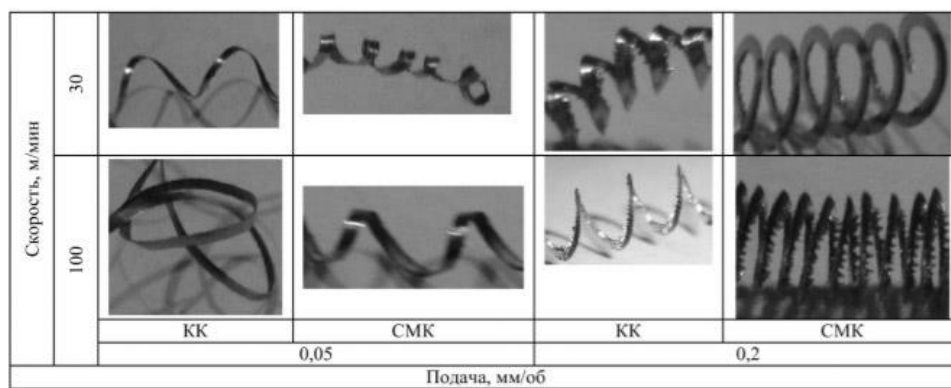
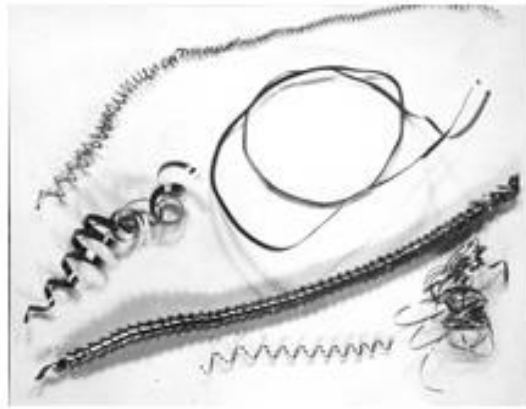


Рисунок 12 – Форма и вид стружки при обработке точением [31]

В работе [32] приведены результаты исследований по методам обработки коррозионно-стойких сталей, используемых при изготовлении системы выпуска отработанных газов автомобилей ВАЗ. В итоге было установлено, что при обработке резанием стали 12Х18Н10Т образуется сливная стружка, завитая в спираль длиной более 200 мм, частично лентообразная, для удаления которой из зоны резания требуется постоянное вмешательство оператора; при обработке стали А10Х16Н15Т (0,25-0,35% S) образуется легколомающаяся элементная или сливная спиральная стружка длиной до 50 мм, легко удаляющаяся из станка.



а



б

Рисунок 13 – Вид стружки, образующейся при автоматной обработке резанием стали 12X18H10T (а) и А10Х16Н15Т (б) в производственных условиях [33].

Вид стружки, отобранной при исследовании обрабатываемости сталей лабораторных плавок показал, что с увеличением содержания серы в стали намечается тенденция к улучшению формы стружки. Хотя во всех изученных случаях образуется сливная стружка, с увеличением содержания серы в стали она из прямой становится спиральной, менее путающейся. Следует отметить, что наиболее четко эта разница выявилась при опробовании стали лабораторных плавок в производственных условиях (непосредственно при изготовлении деталей). В этом случае стружка из сливной – в виде длинных легко путающихся спиралей – у стали базового состава, в сталях с повышенным содержанием серы приобретает вид коротких спиралей, что более благоприятно. При содержании серы 0,15-0,25% стружка легко удаляется из зоны резания и станка.

Обработка коррозионно-стойких сталей, которые являются нержавеющейими и о которых упоминалось в самом начале публикации, является более сложной технологической задачей по сравнению с механической обработкой более простых сталей [33 - 37]. Например, комплексные сведения по механической обработке перспективных высокоазотистых коррозионно-стойких нержавеющейих сталей отсутствуют. И тут по мере внедрения новых сталей и сплавов материаловедам и технологам еще предстоит решать множество сопутствующих задач.

Выводы. Акцентировано внимание на некоторых аспектах, связанных с механической обработкой сталей и сплавов применяемых в автомобильной отрасли. Приведены некоторые виды классификации стружки. Приведены марки и классификация сталей и сплавов, которые применяются для обработки резанием. Отмечено, что в данное время, отсутствуют комплексные литературные данные по механической обработке перспективных высокоазотных коррозионно-стойких нержавеющейих сталей.

Список литературных источников

1. Балицький О. І., Колесніков В. О., Гаврилюк М. Р., Ріпей І. В., Гарда В. М., Нестеров А. О. Дослідження змащувальних охолоджуючих рідин для обробки деталей транспорту // Матеріали IV-ї Міжнародної науково-технічної інтернет-конференції "Проблеми та перспективи розвитку автомобільного транспорту", 14-15 квітня 2016 р., м. Вінниця. - С. 67 - 73. Режим доступу: <http://ir.lib.vntu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/19815/materialy2016-67-73.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
2. Балицький О. І., Гаврилюк М. Р., Дев'яткін Р. М., Колесніков В. О., Федусів І. Р. Концентрат змащувально-охолоджуючої рідини для механічної обробки металів. Патент на корисну модель № 106988 України, МПК (2016.01) С10М 173/00, С10М 133/06 (2006.01),

C10M 129/56 (2006.01). Заявка № u 2015 12667; Заявлено 21.12.2015. Опубліковано 10.05.2016. Бюл.№9.- 4 с. Режим доступу: <http://uapatents.com/6-106988-koncentrat-zmashhuvalno-okholodzhuyucho-ridini-dlya-mekhanichno-obrobki-metaliv.html>.

3. Balitskii A., Hawrilyuk M., Elias J., Balitska W., Kolesnikow W. Oddziaływanie wodoru na kształtowanie i odprowadzenie wiórow w obróbce skrawaniem stali wysokostopowych z użyciem ekologicznych cieczy smarująco-chłodzących // Obrobka skrawaniem – 10. – Obrobka skrawaniem podstawa rozwoju metrologii / Pod redakcja Jana Burka // X Szkoła Obrobki Skrawaniem, Rzeszow-Lancut, 2016. – S. 447-452. Режим доступу: <http://www.mechanik.media.pl/artykuly/oddziaływanie-wodoru-na-kształtowanie-i-odprowadzenie-wiorow-w-obrobce-skrawaniem-stali-wysokostopowych-z-uzyciem-ekologicznych-cieczu-smarujaco-chlodzacych.html>.

4. Дослідження впливу змащувально-охолоджувальних рідин на оброблюваність високоміцних металів // О. Балицький, М. Гаврилюк, В. Колесніков // Тез. доп. 5-ої Міжнародної науково-технічної конференції «Теорія та практика раціонального проектування, виготовлення і експлуатації машинобудівних конструкцій». 27-28 жовтня – Львів: КІНПАТРИ ЛТД. – 2016. – С. 17-18. Режим доступу: https://www.researchgate.net/publication/331413198_Doslidzenna_vplivu_zmasuvalno-oholodzuvalnih_ridin_na_obrobluvanist_visokomicnih_metaliv_O_Balickij_M_Gavriluk_V_Kolesnikov_Tez_dop_5-oi_Miznarodnoi_naukovo-tehnicnoi_konferencii_Teoria_ta_praktika_ra

5. Колесніков В. О. Підвищення корозійної тривкості деталей з важкооброблюваної сталі під час механічного оброблення точінням // Матеріали XIV Міжнародної конференції "Проблеми корозії та протикорозійного захисту конструкційних матеріалів "КОРОЗИЯ-2018". 5 - 6 червня 2018 р., м. Львів. С. 328 - 331. Режим доступу: http://www.ipm.lviv.ua/corrosion2018/Chapter_04/328_Kolesnikov.pdf.

6. Balyts'kyi O.I., Kolesnikov V.O., Elias J., Havrylyuk M.R. Specific Features of the Fracture of Hydrogenated High-Nitrogen Manganese Steels Under Conditions of Rolling Friction // Mat. Sci.– 2015. – 50, No 4. – P. 604 – 611. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11003-015-9760-9>

7. Балицький О., Гаврилюк М., Колесніков В. Екологічно чиста змащувально-охолоджувальна рідина для механічної обробки сталі: тези доп. 12-го Міжнар. симп. українських інженерів-механіків у Львові м. Львів, 28-29 травня 2015 р. Львів, 2015. С. 80-81. Режим доступу: http://repositsc.nuczu.edu.ua/bitstream/123456789/4345/1/Tezy_ISUMEL-12.pdf

8. Alexander Balitskii, · Hawrilyuk M., · Elias J., · Balitska W., · Kolesnikow W. Efektywnosc olejow roslinnych jako cieczy smarujaco-chlodzacych w obrobce skrawaniem stali wirnikowych // Obrobka skrawaniem – 9.- Obrobka skrawaniem podstawa rozwoju metrologii / Pod redakcja Edwarda Miko // IX Szkoła Obrobki Skrawaniem, Sandomierz Kielce, 2015. – S. 168-176. Режим доступу: http://www.mechanik.media.pl/pliki/do_pobrania/artykuly/22/21_168_176.pdf.

9. Balitskii A., Hawrilyuk M., Elias J., Balitska W., Kolesnikow W. Efektywnosc olejow roslinnych jako cieczy smarujaco-chlodzacych w obrobce skrawaniem stali wirnikowych // Mechanik. – 2015. – N 8-9.–S.722 (168-176).DOI: 10.17814/mechanik.2015.8-9.424.

Режим доступу: <http://www.mechanik.media.pl/artykuly/efektywnosc-olejow-roslinnych-jako-cieczu-smarujaco-chlodzacych-w-obrobce-skrawaniem-stali-wirnikowych.html>.

10. Еліаш Я. Балицький О., Гаврилюк М., Колесніков В., Балицька В. Екологічно чисті змащувально-охолоджуючі рідини на базі рослинних олій // Монографія “Проблеми хімотології та практика раціонального використання традиційних і альтернативних паливно-мастильних матеріалів” / За заг. ред. С. Бойченка – Центр учбової літератури. Київ, 2017. – С. 418 - 422. Режим доступу: http://researchworker.ucoz.ru/load/ekologichno_chisti_zmashhuvalno-okholodzhujuchi_ridini_na_bazi_roslinnikh_olij/1-1-0-165.

11. Колесніков В. О. Концепція проведення діагностики технічних систем за аналізом продуктів зношування та різання // XXV відкрита науково-технічна конференція молодих науковців і спеціалістів КМН-2017. 27- 29 вересня 2017 р. С. 131 – 132. Режим доступу:

http://kolesnikov.ucoz.com/load/koncepcija_provedennja_dagnostiki_tekhnichnikh_sistem_za_analizom_produktiv_znoshuvannja_ta_rizannja/1-1-0-30.

12. Балицький О. І., В. О. Колесніков, Гаврилюк М. Р Вплив змащувальної охолоджувальної рідини на формування продуктів різання сталі 38ХНЗМФА // Фіз.-хім. механіка матеріалів. – 2018. - № 5 – 103-107. Режим доступу: https://www.researchgate.net/publication/331877029_Fiziko-himicna_mehanika_materialiv-2018-No_5-Physicochemical_Mechanics_of_Materials_UDK_621.

13. Колесніков В. О., Глюзицький О. О. Застосування можливостей нових технологій та прикладного матеріалознавства для впровадження автомобільних матеріалів // Матеріали IV-ї Міжнародної науково-технічної інтернет-конференції "Проблеми та перспективи розвитку автомобільного транспорту", 14-15 квітня 2016 р., м. Вінниця. - С. 49-57. Режим доступу: <http://dspace.luguniv.edu.ua/xmlui/handle/123456789/1886>.

14. Колесніков В. О., Нестеров А. О., Глюзицький О. О. Застосування можливостей обчислювального матеріалознавства та ІТ технологій для розробки автомобільних деталей // Матеріали IV-ї Міжнародної науково-технічної інтернет-конференції "Проблеми та перспективи розвитку автомобільного транспорту", 14-15 квітня 2016 р., м. Вінниця. - С. 6-12. Режим доступу: <http://ir.lib.vntu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/19804/materialy2016-6-12.pdf?sequence=1>

15. Прохорова Т. В., Перчемлі І. Ф., Колесніков В. О. Матеріали та технології в автомобільній промисловості // Матеріали V-ї Міжнародної науково-технічної інтернет-конференції "Проблеми та перспективи розвитку автомобільного транспорту", 13-14 квітня 2017 р., м. Вінниця. - С.105 -112. Режим доступу: <http://atmconf.vntu.edu.ua/materialy2017.pdf>.

16. Колесніков В. О. Індустріальна технологічна революція (Індустрія 4.0), як вона торкнеться автомобільної галузі // Матеріали VI-ї Міжнародної науково-технічної інтернет-конференції "Проблеми та перспективи розвитку автомобільного транспорту", 12-13 квітня 2018 р., м. Вінниця. С. 90 - 94. Режим доступу: <http://ir.lib.vntu.edu.ua/handle/123456789/22082>

17. Устройство автомобиля. Режим доступа: https://amastercar.ru/articles/body_of_car_3.shtml.

18. The Battle of the Bodies: Steel vs. Aluminum in Automotive Production // Isaac Maw posted on February 05, 2018. URL: <https://www.engineering.com/AdvancedManufacturing/ArticleID/16437/The-Battle-of-the-Bodies-Steel-vs-Aluminum-in-Automotive-Production.aspx>.

19. CNC Turning Parts. URL: <https://www.unisontek.com.tw/?cnc-turning-parts,9>.

20. Кожевников Д. В., Кирсанов С. В. Резание материалов. – М.: Машиностроение, 2012. –304 с.

21. Werkstoffprüfung von Metallen. Von einem Autorenkollektiv Federführung, Dr. Karl Nitzsche. Veb Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie. Leipzig. 1963. Испытания металлов. Сборник статей под редакцией К. Ницше. Перевод с немецкого Е.В. Лайнер и др. - М.: Металлургия, 1967. - 452 с.

22. Основы теории резания материалов: учебник / Мазур Н.П., Внуков Ю.Н., Грабченко А.И. и др.; под общ. ред. Н.П. Мазура. – 2-е изд., перераб. и дополн. – Харьков : НТУ «ХПИ». 2013. – 534 с.

23. Матвеев В. С. Классификация видов сливной стружки / В.С.Матвеев // Пути интенсификации производственных процессов при механической обработке. – Томск, 1979. – С. 12–16.

24. Wit Grzesik Podstawy skrawania materiałůw metalowych. – Warszawa : Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, 1998. – 382 arc

25. Козлов В.Н. Резание материалов и режущий инструмент <http://portal.tpu.ru:7777/SHARED/k/KOVN/academic/Tab1/Tab/RezanieMaterialovPDF.pdf>.

26. Куфарев Г. Л., Окенов К. Б., Говорухин В. А. Стружкообразование и качество обработанной поверхности при несвободном резании. Фрунзе: Мектеп, 1970. 172с.

27. Развитие науки о резании металлов / В. Ф. Бобров, Г. И. Грановский, Н. Н. Зорев и др. М. : Машиностроение, 1967. 416с.

28. Metal Machining. Semester I Session 2013/2014. TOPIC OUTLINE. Introduction Mechanics of Cutting Cutting Conditions Chip Formation Types of Cutting Cutting Tool Materials Tool Wear and Tool Life Cutting Fluid Surface Finish . LESSOURL: <https://www.slideserve.com/tezza/metal-machining>.

29. Филиппов М. А. и др. Методология выбора металлических сплавов и упрочняющих технологий в машиностроении. Учебное пособие в 2-х томах. Том 1. Стали и чугуны // Учебное пособие. — 2-е изд., испр. — Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2013. — 232 с. — ISBN 978-5-7996-0928-3 (т. 1), ISBN 978-5-7996-0917-7.

30. Филиппова Е. О. Стружкообразование при точении безвершинным резцом с радиусной задней поверхностью // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 6.; <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=16040> (дата обращения: 04.04.2019).

31. Симонова А.А., Везеуб Н. В., Пупань Л.И. Особенности процесса резания субмикроструктурных двухфазных титановых сплавов // Вестник Кузбасского государственного технического университета. - 2014 (1) 101 С. 77 -83

32. Сахаров В.В. Разработка состава аустенитной коррозионно-стойкой стали с улучшенной обрабатываемостью резанием для систем выпуска отработанных газов автомобилей. URL: <https://refdb.ru/look/1587152-pall.html>

33. В. С. Муратов, В. В. Сахаров. Формирование структуры и свойств коррозионно-стойких сталей для улучшения обрабатываемости резанием. Заготовительные производства в машиностроении, №6, 2005, с.53-55.

34. Ю. Д. Яшин, В. В. Сахаров, М. Д. Копыл, А. Я. аславский. Автоматная нержавеющая сталь. Автомобильная промышленность, № 9, 1993, с.31-34.

35. Особенности использования токарных станков для обработки нержавеющей стали. URL: <https://promzn.ru/obrabotka-metalla/nerzhaveyushchej-stali.html>.

36. Укромление нержавеющей стали. URL: <http://tverdysplav.ru/ukroshhenie-nerzhaveyushhej-stali>.

37. «Нержавейка» сложнее поддается обработке (сверлению, резанию и т.д.), почему? URL: <http://www.best-krepeg.ru>.

Колесников Валерий Александрович – к.т.н., м.н.с. лаборатории водородной стойкости конструкционных сплавов отдела физических основ разрушения и прочности материалов в агрессивных средах Физико-механического института им. Г. В. Карпенко Национальной академии наук Украины; доцент кафедры технологий производства и профессионального образования ГУ "Луганский национальный университет им. Тараса Шевченко", г. Старобельск