

В.Н. Кудрявцев¹, В.А. Парамонова²

ВЛИЯНИЕ ПОДАЧИ И ТВЁРДОСТИ ПОВЕРХНОСТИ ОБРАБАТЫВАЕМОЙ ЗАГОТОВКИ ИЗ СТАЛЕЙ И ЧУГУНА НА СКОРОСТНОЙ РЕЖИМ РЕЗАНИЯ РЕЗЦАМИ С ПЛАСТИНКАМИ ИЗ ТВЁРДОГО СПЛАВА



¹Владимир Николаевич Кудрявцев,
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра
Великого
Россия, Санкт-Петербург
Тел.: +7(981)806-8979, E-mail: kudryavtsevvn@mail.ru.



²Виктория Андреевна Парамонова,
Донецкий национальный университет экономики и торговли
имени Михаила Туган-Барановского
Россия, ДНР, Донецк
Тел.: +7(949) 323-0841, E-mail: vaparamonova@mail.ru.

Аннотация

В работе рассмотрены вопросы обработки металлов резанием, рассмотрены условия в зоне резания и общие вопросы влияния режимов на температурные условия в зоне резания, наростообразование, износ режущего инструмента и качество обработанной поверхности. Отдельное внимание уделено справочной таблице, применяемой при выборе скорости резания для обработки деталей из стали и серого чугуна резцами с пластинками из твёрдого сплава. В результате обработки справочных данных, аналитическими и расчётными методами получена модель для расчёта скорости резания в зависимости от твёрдости поверхностного слоя (HB) и подачи (s) вида $v = A \cdot HB + B$. Выявлены закономерности в изменении коэффициентов модели A и C при изменении подачи для сталей и серого чугуна.

Ключевые слова: твёрдость материала, скорость подачи, подача, резцы с пластинками из твёрдого сплава, сталь, чугун серый.

Введение

Развитие машиностроительной отрасли напрямую связано с исследованиями в области металлообработки. Одним из значимых направлений в исследованиях является исследование влияния режимов обработки на качество поверхностного слоя, а также износ режущего инструмента. Несмотря на обилие справочников, данных от различных научных коллективов, конкретные рекомендации по назначению режимов для обработки в зависимости от основных факторов так и не установлены, отсутствуют итоговые модели для назначения параметров режимов резания. Данная ситуация обусловлена множеством объективных факторов, начиная от принятых конструктором припусков на обработку, выбором конкретных значений подачи и скорости резания из рекомендуемых в справочниках диапазонов данных, и заканчивая особенностями работы станка на конкретном рабочем месте. В статьях анализируется влияние скорости подачи на формирование шероховатости поверхности при точении, проводятся исследования профилей шероховатости, индексов шероховатости и спектров Фурье, анализ явлений, связанных со стружкой, влияние скоростей подачи на микроструктуру и механические свойства различных материалов и сплавов, смазочно-охлаждающих жидкостей на износ инструмента и шероховатость поверхностей [1-22].

Процессы резания пластичных материалов (сталь, латунь, алюминий) сопровождаются интенсивным наростообразованием, т.е. образованием плотного скопления частиц материала, прочно укрепляющимся на передней поверхности инструмента у режущей кромки [23]. Образование нароста может быть объяснено тем, что при определённых условиях обработки (высокие давления и повышенные температуры в зоне резания) силы трения между передней поверхностью резца и срезаемым слоем металла становятся больше сил внутреннего сцепления обрабатываемого материала, а, при приближении температур в зоне резания к значениям температуры холодной пластической деформации, частицы материала обрабатываемой заготовки прочно сцепляются с передней поверхностью инструмента.

Форма и размеры образуемого нароста постоянно изменяются от минимальных до максимальных значений, проходя цикл «образование – рост – отрыв - образование». Основная часть нароста уносится стружкой, а часть в виде мелких вкраплений вклинивается в заготовку, ухудшая качество поверхности и свойства материала.

В процессе механической обработки материалов лезвийным инструментом значительная часть затраченной механической энергии

(работы) преобразуется в теплоту. Основными зонами тепловыделения являются (рис. 1):

- область наибольших пластических деформаций Q_D вблизи плоскости скалывания (сдвига) под углом β_1 ;

- зоны трения в месте контакта стружки с передней поверхностью инструмента $Q_{т.п.}$ и задних поверхностей резца с заготовкой $Q_{з.п.}$.

Наибольшее количество выделяемой теплоты уносится со стружкой. Несколько меньшая часть теплоты отводится в заготовку и резец, вызывая их нагрев.

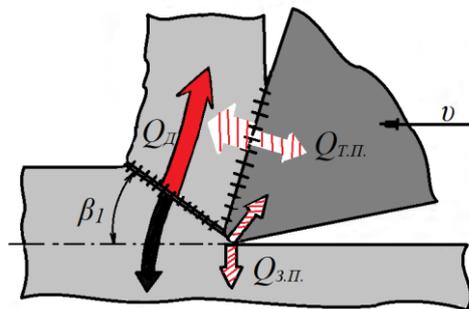


Рис. 1. Источники теплообразования Q_D , $Q_{т.п.}$, $Q_{з.п.}$ и потоки отводимого тепла в стружку, резец и деталь

Появление нароста на поверхностях является естественным процессом, возникающим под давлением режущего инструмента на поверхность материала, и, более вероятно, вызвано изменением свойств поверхностного слоя заготовки под воздействием температуры и давления. Исходя из справочных данных, максимальная высота нароста соответствует, примерно, 350°C (типичная температура MS для сталей), что позволяет предположить перерождение мартенсита в аустенит и, как следствие, размягчение верхнего мартенситного слоя в поверхностном слое в процессе резания, который, преобразуясь в аустенит, и образует нарост, уплотняющийся при обратном превращении.

При этом цикл наростообразования приводит к ухудшению точности (наличие микронеровностей в виде ступеней на поверхностях) и качества обработки (повышение шероховатости) поверхностей. При этом структура материала нароста деформирована, а его твердость значительно превышает твердость обрабатываемого материала, за счет чего, до момента отрыва, нарост защищает вершину резца и режущую кромку от преждевременного износа. Угол резания на наросте меньше угла резания на резце, что немного снижает расход мощности на резание.

В связи с этим, за счет повышения производительности, при черновой обработке наростообразование не считается критическим явлением и его влияние считается положительным, а при чистовой обработке - образование нароста следует избегать.

Известно, что скорость образования нароста существенно зависит от скорости резания (наибольшее наростообразование соответствует скоростям резания 18...30 м/мин) и подачи (прямая зависимость), в то время как глубина резания на размеры нароста существенного влияния не имеет. Кроме того размеры нароста находятся в прямой зависимости от угла резания.

Использование скоростей резания до 10-12 м/мин и более 50-70 м/мин позволяет практически исключить нарост на режущем инструменте. Это является одной из причин проведения чистовой обработки на повышенных скоростях резания.

Одним из способов снижения рабочих температур в зоне резания, и, как следствие, уменьшения наростообразования, является использование смазочно-охлаждающих жидкостей.

Целью статьи является обеспечение возможности расчёта скорости резания в зависимости от твёрдости поверхностного слоя (HB) и подачи (s).

Методы

Основной задачей данной статьи является определение модели для расчёта скорости резания в зависимости от твёрдости поверхностного слоя (HB) и подачи (s) вида $v = A \cdot HB + B$, определение закономерностей в изменении коэффициентов модели A и B при изменении подачи для сталей и серого чугуна.

Данная модель облегчит назначение скоростного режима резания резцами с пластинками из твёрдого сплава для сталей и серого чугуна и обеспечит более стабильное качество обрабатываемых изделий.

Результаты

Для выбора подходящих режимов резания конструкторы используют различные справочники, рекомендации производителей инструмента, а также опыт работы на конкретном оборудовании. Во многих справочниках рекомендовано определять скорость резания при точении с помощью специальных таблиц и поправочных коэффициентов. Однако проблема состоит в том, что скорость резания при точении рассчитывается с использованием коэффициентов, которые могут быть различны в различных источниках, часто рекомендуемые значения заданы в виде диапазонов данных без конкретных рекомендаций по их применению [24].

Для достижения цели был проведен анализ справочной таблицы справочника «Режимы резания металлов» [25]. Исходные данные для построения модели представлены в таблице 1.

Таблица 1. Рекомендуемые скорости резания деталей из стали и чугуна серого резцами с пластинками из твердого сплава

Обрабатываемый материал			Подача s , в мм/об, до											
Вид материала	механическая характеристика		0,09	0,10	0,12	0,14	0,16	0,19	0,22	0,25	0,29	0,39	0,52	0,70
	σ_B	НВ	Скорость резания v , в м/мин											
Сталь конструкционная углеродистая и легированная	44-49	126-140	245	218	193	172	153	136	120	107	95	75	59	-
	50-55	141-158	218	193	172	153	136	120	107	95	85	67	53	-
	56-62	159-177	193	172	153	136	120	107	95	85	75	59	47	-
	63-70	178-200	172	153	136	120	107	95	85	75	67	53	42	-
	71-79	201-226	153	136	120	107	95	85	75	67	59	47	37	-
	80-89	227-255	136	120	107	95	85	75	67	59	53	42	33	-
	90-100	256-289	120	107	95	85	75	67	59	53	47	37	29	-
Чугун серый	150-156	105	100	95	89	84	79	75	70	66	59	52	46	
	157-164	100	95	89	84	79	75	70	66	62	55	49	44	
	164-172	95	89	84	79	75	70	66	62	59	52	46	41	
	173-181	89	84	79	75	70	66	62	59	55	49	44	39	
	182-190	84	79	75	70	66	62	59	55	52	46	41	36	
	191-199	79	75	70	66	62	59	55	52	49	44	39	34	
	200-219	75	70	66	62	59	55	52	49	46	41	36	32	
	220-241	66	62	59	55	52	49	46	44	41	36	32	29	
	243-265	59	55	52	49	46	44	41	39	36	32	29	26	

Графики изменения рекомендуемых скоростей резания от максимальной прочности при растяжении σ_B при различных подачах для сталей в исследованных диапазонах представлены на рис. 2.

Для расчёта скоростей резания от максимальной прочности при растяжении σ_B при различных подачах (обработка сталей) могут быть использованы эмпирические зависимости:

$$s=0.09$$

$$v = 0,0321 \cdot \sigma_B^2 - 7,1496 \cdot \sigma_B + 515,69 \quad (R^2 = 0,99) \quad (1)$$

$$s=0.1$$

$$v = 0,0288 \cdot \sigma_B^2 - 6,3953 \cdot \sigma_B + 459,76 \quad (R^2 = 0,99) \quad (2)$$

$$s=0.12$$

$$v = 0,0254 \cdot \sigma_B^2 - 5,6577 \cdot \sigma_B + 407,5 \quad (R^2 = 0,99) \quad (3)$$

$$s=0.14$$

$$v = 0,0238 \cdot \sigma_B^2 - 5,2061 \cdot \sigma_B + 368,4 \quad (R^2 = 0,99) \quad (4)$$

$$s=0.16$$

$$v = 0,0208 \cdot \sigma_B^2 - 4,5801 \cdot \sigma_B + 325,74 \quad (R^2 = 0,99) \quad (5)$$

$$s=0.19$$

$$v = 0,0184 \cdot \sigma_B^2 - 4,04 \cdot \sigma_B + 288,12 \quad (R^2 = 0,99) \quad (6)$$

$$s=0.22$$

$$v = 0,0152 \cdot \sigma_B^2 - 3,4225 \cdot \sigma_B + 250,04 \quad (R^2 = 0,99) \quad (7)$$

$$s=0.25 \quad v = 0,0143 \cdot \sigma_s^2 - 3,1569 \cdot \sigma_s + 226,4 \quad (R^2 = 0,99) \quad (8)$$

$$s=0.29 \quad v = 0,0128 \cdot \sigma_s^2 - 2,8261 \cdot \sigma_s + 201,95 \quad (R^2 = 0,99) \quad (9)$$

$$s=0.39 \quad v = 0,0097 \cdot \sigma_s^2 - 2,1693 \cdot \sigma_s + 157,19 \quad (R^2 = 0,99) \quad (10)$$

$$s=0.52 \quad v = 0,0072 \cdot \sigma_s^2 - 1,6478 \cdot \sigma_s + 122,02 \quad (R^2 = 0,99) \quad (11)$$

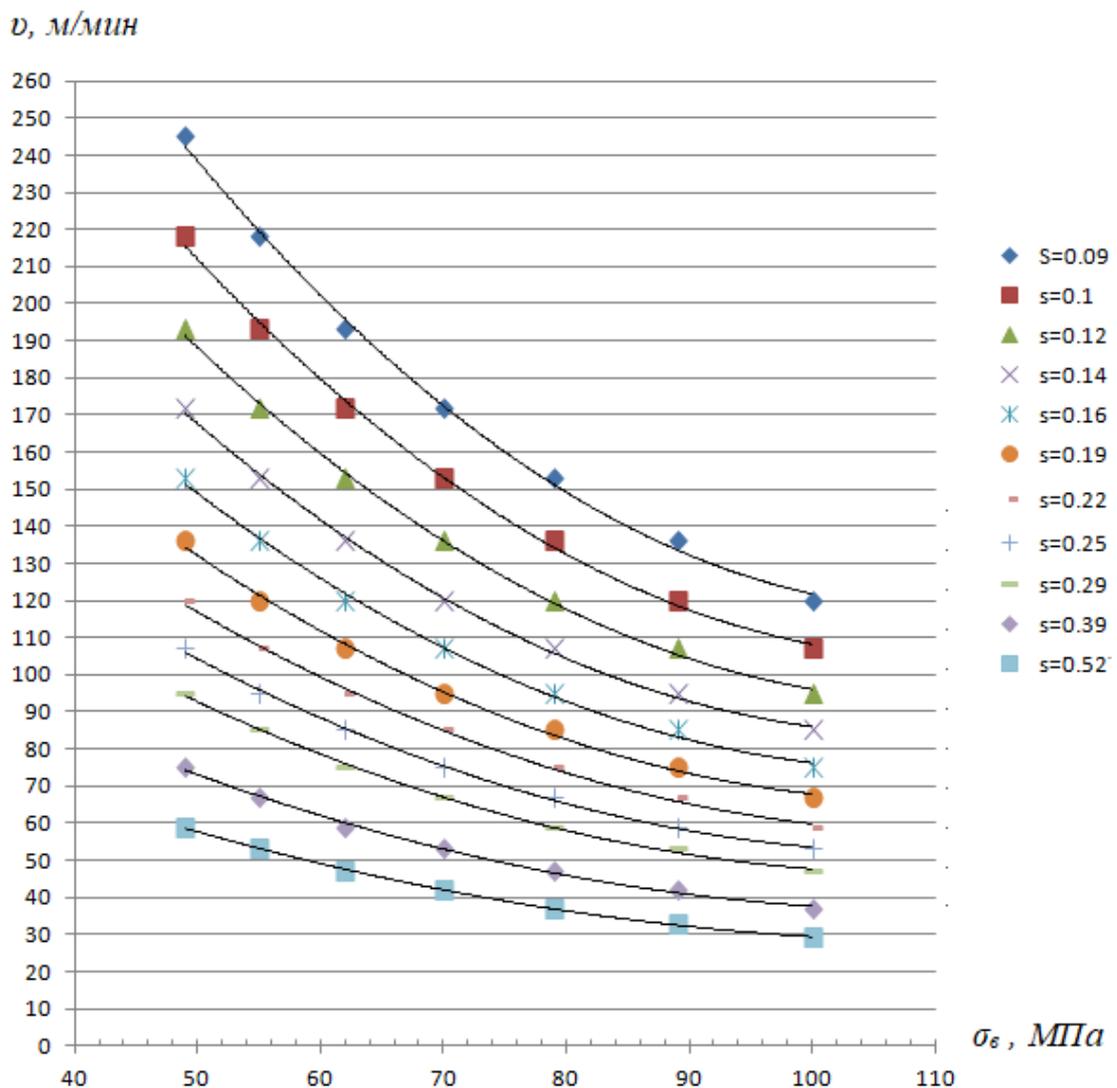


Рис. 2. Графики изменения рекомендуемых скоростей резания от максимальной прочности при растяжении σ_s при различных подачах (обработка сталей)

В результате первичного анализа было отмечено, что построение единой модели для всех подач на основании регрессионного анализа не представляется возможным, доверительный интервал для такой модели

составляет 50-75% (в зависимости от количества учитываемых факторов). При этом наблюдается характерная тенденция к снижению рекомендуемой скорости резания с уменьшением прочности при растяжении σ_s и увеличением подачи (см. рис. 2).

По результатам анализа промежуточных моделей было принято решение об учёте в регрессионном анализе лишь подачи и твёрдости материалов. Такой подход позволяет принимать решения на основании расчёта твердости стали, исходя из её состава [26], после чего использовать полученные значения твердости для расчёта скорости резания.

В связи с этим были получены регрессионные модели для расчёта скорости резания при обработке сталей и чугуна серого резцами с пластинками из твердого сплава для каждой подачи вида:

$$v, \text{ м/мин} = A \cdot HB + B \quad (R^2 = 0,96) \quad (12)$$

Коэффициенты A и свободные члены B зависимостей для всех подач представлены в таблице 2.

Таблица 2. Коэффициенты A и свободные члены B зависимостей для модели (12)

сталь	s	0,09	0,1	0,12	0,14	0,16	0,19
	B	345,795	307,372	272,895	242,423	215,461	190,930
	A	-0,819	-0,728	-0,647	-0,574	-0,510	-0,451
	s	0,22	0,25	0,29	0,39	0,52	
	B	169,564	150,852	134,087	105,682	83,812	
	A	-0,401	-0,356	-0,317	-0,249	-0,198	
чугун	s	0,09	0,1	0,12	0,14	0,16	0,19
	B	165,704	158,411	149,076	140,536	132,389	124,078
	A	-0,414	-0,401	-0,376	-0,356	-0,335	-0,312
	s	0,22	0,25	0,29	0,39	0,52	0,7
	B	117,536	109,322	104,237	92,907	81,844	72,091
	A	-0,298	-0,273	-0,264	-0,236	-0,206	-0,180

Графики изменения величин коэффициентов A и B модели (12) для сталей и серого чугуна по построенным зависимостям представлены на рисунке 3.

Для расчёта коэффициентов модели (12) могут быть использованы эмпирические зависимости:

- сталь:

$$A = 16,584 \cdot s^3 - 19,376 \cdot s^2 - 7,804 \cdot s - 1,3452 \quad (R^2 = 0,99) \quad (13)$$

$$B = 49,891 \cdot s^{(-0,8)} \quad (R^2 = 0,99) \quad (14)$$

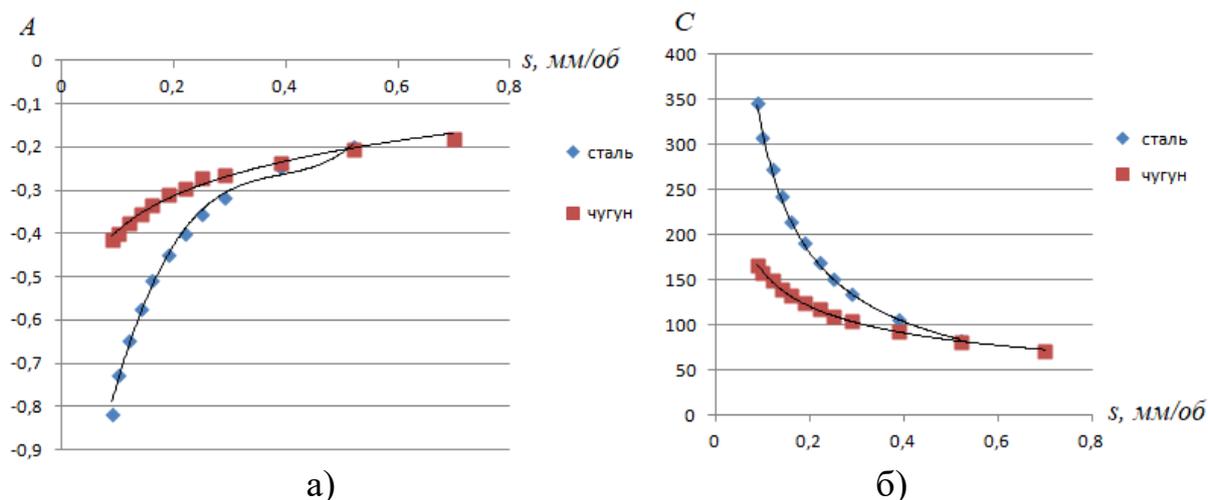


Рис. 3. Графики изменения величин коэффициентов А (а) и С (б) модели (12) для сталей и серого чугуна

- чугун:

$$A = 0,1159 \cdot \ln(s) - 0,1266 \quad (R^2 = 0,99) \quad (15)$$

$$B = 62.952 \cdot s^{(-0.405)} \quad (R^2 = 0,99) \quad (16)$$

Результаты сравнения экспериментальных данных и данных, рассчитанных по полученным моделям, представлены в таблице 3 для отдельных уровней. Отклонения были рассчитаны для всех вариантов и не превысили 10%, а для большинства уровней (из 77 исследованных для сталей и 108 – для чугуна) составили менее 5%.

Таблица 3. Результаты сравнения экспериментальных данных и данных, рассчитанных по полученным моделям

s, мм/об, до	Сталь (НВ=140 x10 ⁻¹ , МПа)			Чугун (НВ=156x10 ⁻¹ , МПа)		
	Урез М/МИН (справочное)	Урез расч М/МИН (12, 13, 14)	Δ,%	Урез М/МИН (справочное)	Урез расч м/мин (12, 15,16)	Δ,%
0,09	245	232,20	5,23	105	103,65	1,29
0,1	218	210,91	3,25	100	98,58	1,42
0,12	193	179,80	6,84	95	90,49	4,75
0,14	172	158,34	7,94	89	84,28	5,30
0,16	153	142,68	6,74	84	79,35	5,54
0,19	136	125,63	7,62	79	73,57	6,88
0,22	120	112,99	5,84	75	69,11	7,86
0,25	107	102,79	3,93	70	65,55	6,35
0,29	95	91,32	3,88	66	61,80	6,37
0,39	75	68,87	8,17	59	55,40	6,09
0,52	59	56,95	3,48	52	50,47	2,95
0,7				46	46,54	-1,17

Анализ коэффициентов перед параметром твёрдости материала и свободных членов модели позволил выявить закономерности, по которым снижаются коэффициенты при увеличении подачи и твёрдости материалов, что позволяет автоматизировать назначение скорости резания при обработке материалов резцами с пластинками из твёрдых сплавов.

Обсуждение

Правильное назначение подачи и скорости резания важно как для обеспечения качества поверхности материала, так и для снижения скорости износа режущего инструмента в процессе металлообработки на станках. И данным направлениям исследования посвящено значительное количество работ [1-23]. Правильный выбор подачи обеспечивает равномерное срезание материала и более высокое качество поверхности. При этом увеличение подачи и скорости обработки позволяет повысить производительность процессов за счет сокращения времени обработки, однако провоцирует создание более высокотемпературных полей в зоне резания, что может привести к получению более грубой шероховатости, увеличению наростообразования, «привариванию» стружки и более быстрому износу инструмента. Снижение величины подачи и скорости резания позволяет получить более гладкую поверхность, однако приводит к увеличению времени обработки и, как следствие, снижению производительности.

Оптимизация подачи и скорости резания позволяет достичь требуемого качества поверхности и повысить срок службы режущего инструмента.

Заключение

Полученные в работе модели для расчёта скорости резания при обработке сталей и чугуна серого резцами с пластинками из твёрдого сплава для каждой подачи, могут быть использованы при автоматизированном программировании процессов резания на станках с ЧПУ, а также в процессе технологической подготовки производства для упрощенного назначения скорости резания. Полученные зависимости упрощают расчёты в САПР, исключая неоднозначность выбора режима, множества коэффициентов в рекомендуемых диапазонах справочных данных, что делает результаты обработки более предсказуемыми.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Gassara, B., Sai, W.B. Modeling of spindle speed and feed rate considering the kinematic behavior of CNC lathe in face turning. *Int J Adv Manuf Technol* 136, 3387–3406 (2025). <https://doi.org/10.1007/s00170-024-14978-7> – URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00170-024-14978-7>
- [2] Truong, HS., Nguyen, TT., Bui, TA. (2025). Evaluating the Impact of Cutting Speed and Feed Rate on Surface Roughness Utilizing a Four-Insert Carbide Face Milling Cutter on CNC Machines. In: Hoang Tien, D., Solanki, V.K., Mahmud, J., Nguyen, T.D.L. (eds) *Proceedings of the 1st International Conference on Sustainability and Emerging Technologies for Smart Manufacturing. SETSM 2024. Proceedings in Technology Transfer*. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-97-7083-0_34 - URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-97-7083-0_34
- [3] Chen, Z., Huang, C., Liu, H. et al. Surface integrity and modification of SA508Gr.3Cl.2 RPV steel induced by high-speed face milling process. *Int J Adv Manuf Technol* 133, 2639–2653 (2024). <https://doi.org/10.1007/s00170-024-13803-5> - URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00170-024-13803-5#citeas> - URL: <https://mamp-journal.springeropen.com/articles/10.1186/s40759-020-00045-7#citeas>
- [4] Tuyboyov Oybek Valijonovich, Toshtemirov Kamol Qahramonovich Tool wear prediction and management strategies in high-speed machining environments // *Строительство и образование*. 2024. № Спецвыпуск 1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tool-wear-prediction-and-management-strategies-in-high-speed-machining-environments> (дата обращения: 27.04.2025).
- [5] Chen, G., Wu, K., Wang, Y. *et al.* Effect of rotational speed and feed rate on microstructure and mechanical properties of 6061 aluminum alloy manufactured by additive friction stir deposition. *Int J Adv Manuf Technol* 127, 1165–1176 (2023). <https://doi.org/10.1007/s00170-023-11527-6> - URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00170-023-11527-6#citeas>
- [6] Chhotaray, P., Behera, B.C., Mohamed, A., Muduli, K. (2024). Performance Evaluation of Inconel 800 Machining Under Dry Cutting Environment. In: Sahoo, S., Yedla, N. (eds) *Recent Advances in Mechanical Engineering. ICRAMERD 2023. Lecture Notes in Mechanical Engineering*. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-97-1080-5_24 - URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-97-1080-5_24#citeas

- [7] Chen, G., Wu, K., Wang, Y. et al. Effect of rotational speed and feed rate on microstructure and mechanical properties of 6061 aluminum alloy manufactured by additive friction stir deposition. *Int J Adv Manuf Technol* 127, 1165–1176 (2023). <https://doi.org/10.1007/s00170-023-11527-6> - URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00170-023-11527-6>
- [8] Bhise, V.Y., Jogi, B.F. (2023). Investigations on the Machining of Inconel X-750: Effect of Cutting Speed, Feed, Forces, Energy Consumption and MRR. In: Pradeep Pratapa, P., Saravana Kumar, G., Ramu, P., Amit, R.K. (eds) *Advances in Multidisciplinary Analysis and Optimization*. NCMDAO 2021. *Lecture Notes in Mechanical Engineering*. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-19-3938-9_39 - URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-19-3938-9_39
- [9] Mohsen Soori, Behrooz Arezoo Cutting tool wear prediction in machining operations, a review // *Journal of New Technology and Materials (JNTM)* - Vol. 12, N°02 (2022) – pp. 15-26 – URL: <https://hal.science/hal-03888252/document>
- [10] Bhushan, R.K. Impact of nose radius and machining parameters on surface roughness, tool wear and tool life during turning of AA7075/SiC composites for green manufacturing. *Mech Adv Mater Mod Process* 6, 1 (2020). <https://doi.org/10.1186/s40759-020-00045-7> -
- [11] Magdalena Łazińska, Tomasz Durejko, Tomasz Czujko, Zbigniew Bojar The Effect of the Traverse Feed Rate on the Microstructure and Mechanical Properties of Laser Deposited Fe₃Al (Zr,B) Intermetallic Alloy // *Materials*, May 2018 – V. 11 (5):792 - DOI: 10.3390/ma11050792 - URL: https://www.researchgate.net/publication/325152261_The_Effect_of_the_Traverse_Feed_Rate_on_the_Microstructure_and_Mechanical_Properties_of_Laser_Deposited_Fe3Al_ZrB_Intermetallic_Alloy.
- [12] Rajendra S Ghatode, Mahindra N Pande, Jeevan R Gaikwad Study of machining parameters while turning austenitic stainless steel AISI304 // *International Journal of Academic Research and Development* – V.3; Special Issue 2; March 2018 - pp. 14-20 – DOI: https://www.academia.edu/40352408/Study_of_machining_parameters_while_turning_austenitic_stainless_steel_AISI304
- [13] Sridhar Atla, Mulugundam Siva Surya Influence of Cutting Fluids on Tool Wear and Surface Roughness During Turning of Aisi 316 Austenitic Stainless Steel // *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)* - Vol. 6 Issue 07, July – 2017 – pp. 112-115 – URL: https://www.academia.edu/83611584/Influence_of_Cutting_Fluids_on_Tool_Wear_and_Surface_Roughness_During_Turning_of_Aisi_316_Austenitic_Stainless_Steel

- [14] D.L Zariatn, Reza Febriatna Analysis of Influence of Spindle Speed and Feeding Speed to Tool Wear and Surface Roughness // Journal of Energy Mechanical Material and Manufacturing Engineering_- Vol.1, No. 1, November 2016 - DOI: 10.22219/jemmme.v1i1.4480 – URL: https://www.researchgate.net/publication/318612191_Analysis_of_Influence_of_Spindle_Speed_and_Feeding_Speed_to_Tool_Wear_and_Surface_Roughness
- [15] C.H.Shen The importance of diamond coated tools for agile manufacturing and dry machining // Surface and Coatings Technology – V. 86–87, Part 2, 15 December 1996 - pp. 672-677 - DOI: 10.1016 - URL: [https://doi.org/10.1016/S0257-8972\(96\)02969-6](https://doi.org/10.1016/S0257-8972(96)02969-6)
- [16] Rajendrakumar V. Kadi, Suresh T. Dundur Optimization of dry turning parameters on surface roughness and hardness of Austenitic Stainless steel (AISI316) by Taguchi Technique // Journal of Engineering and Fundamentals - Vol. 2(2), pp. 30-41, December, 2015 – DOI: 10.17530 – URL: <http://dx.doi.org/10.17530/jef.15.14.2.2>
- [17] Muataz Hazza F. Al Hazza, Nabilah Bt Md Yusof, Nur Amirah Najwa, Mohd Eikhwan, Mohamad Khazairul, Assem Hatem Taha Experimental study of flank wear in high speed turning of stainless steel AISI 304 // Journal of Advanced Science and Engineering Research - Vol 3, No 2 June (2013) – pp. 96-103 – URL: https://www.academia.edu/64924423/Experimental_study_of_flank_wear_in_high_speed_turning_of_stainless_steel_AISI_304
- [18] Nithyanandhan.T, Manickaraj.K and Kannakumar.R. Optimization of Cutting Forces, Tool Wear and Surface Finish in Machining of AISI 304 Stainless Steel Material Using Taguchi’s Method. // International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology, - Vol. 1 - Issue 4, June 2014. - pp. 488-493 – URL: https://ijiset.com/v1s4/IJISSET_V1_I4_85.pdf
- [19] M.Ramalinga Reddy, P.Ravi Kumar. G.Krishna mohana rao. Effect of feed rate on the generation of surface roughness in turning // International Journal of Engineering Science and Technology (IJEST) (November 2011) - Vol. 3 No. 11 – pp. 8099-8105 - URL: https://www.idc-online.com/technical_references/pdfs/mechanical_engineering/EFFECT%20OF%20FEED%20RATE%20ON%20THE%20GENERATION%20OF%20SURFACE%20ROUGHNESS%20IN%20TURNING.pdf
- [20] Ihsan Korkut, Mustafa Kasap, Ibrahim Ciftci, Ulvi Seker Determination of optimum cutting parameters during machining of AISI 304 austenitic stainless steel // Materials and Design – V. 25 (2004) – pp. 303–305 – URL: https://www.academia.edu/21778446/Determination_of_optimum_cutting_parameters_during_machining_of_AISI_304_austenitic_stainless_steel

- [21] Кятуракис Г., Балтрушайтис А., Рудак П. В., Куис Д. В. Влияние скоростей резания и подачи на начальный износ дереворежущего инструмента // Труды БГТУ. 2014. - №2 – Лесная и деревообрабатывающая промышленность – С. 191-192 – URL: https://www.researchgate.net/publication/308750304_vlianie_skorostej_rezania_i_podaci_ha_nacalnyj_iznos_derevorezusego_instrumenta
- [22] Отений Я.Н. и др. Силы и напряжения на поверхностях режущего лезвия при резании металлов / Отений Я.Н., Муравьев О.П., Эпов А.А., Туменов Т.Н., Жунусова А.Ш., Ткачева Ю.О., Плешакова Е.А., Ерахтина А.В. // Фундаментальные исследования. 2012. - № 6 (часть 1) - С. 155-157 - URL: <https://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=29956> .
- [23] Скорость резания формула автоматизированного расчёта // Станкостроительный завод. Металлообрабатывающие станки и инструмент – URL: <https://www.axissteel.ru/skorost-rezaniya/>
- [24] Жигалов А. Н., Шатуров Д. Г., Жолобов А. А., Ранцевич А. С. Влияние геометрических параметров микрорельефа на передней поверхности твердосплавного лезвийного инструмента и режимов обработки на процесс наростообразования при низких и средних скоростях резания // Вестник Белорусско-Российского университета. 2020. №3 (68). - URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-geometricheskih-parametrov-mikrorelief-na-peredney-poverhnosti-tverdosplavnogo-lezviynogo-instrumenta-i-rezhimov>.
- [25] Режимы резания металлов. Справочник. – Изд. 3-е, перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1972
- [26] Кудрявцев В. Н., Парамонова В. А. Расчётные модели для определения механических свойств некоторых нормализованных сталей // Прогрессивные технологии и системы машиностроения - № 4 (83) 2023 – С. 19-24 – URL: <https://ptsm.donntu.ru/arhiv%20nambe/pdf%20-83/019-024.pdf>

V.N. Kudryavtsev¹, V.A. Paramonova²

THE EFFECT OF FEED RATE AND SURFACE HARDNESS OF THE WORKPIECE MADE OF STEEL AND CAST IRON ON THE HIGH-SPEED MODE OF CUTTING WITH CUTTERS WITH HARD ALLOY PLATES

¹Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Russia;

²Donetsk National University of Economics and Trade named after Mikhail Tugan-Baranovsky, Donetsk People's Republic, Russia.

Abstract

The paper considers the issues of metal cutting, considers the conditions in the cutting area and the general issues of the influence of modes on the temperature conditions in the cutting area, build-up, wear of the cutting tool and the quality of the treated surface. Special attention is paid to the reference table used when choosing the cutting speed for machining steel and grey cast iron parts with cutters with hard alloy plates. As a result of processing the reference data, analytical and computational methods, a model was obtained for calculating the cutting speed depending on the hardness of the surface layer (HB) and feed (s) type $v = A \cdot HB + C$. Patterns in the variation of the coefficients of model A and C with feed changes for steels and gray cast iron have been identified.

Key words: material hardness, feed rate, feed, cutters with hard alloy plates, steel, cast iron grey.

REFERENCES

- [1] Gassara, B., Sai, W.B. Modeling of spindle speed and feed rate considering the kinematic behavior of CNC lathe in face turning. *Int J Adv Manuf Technol* 136, 3387–3406 (2025). <https://doi.org/10.1007/s00170-024-14978-7> – URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00170-024-14978-7>
- [2] Truong, HS., Nguyen, TT., Bui, TA. (2025). Evaluating the Impact of Cutting Speed and Feed Rate on Surface Roughness Utilizing a Four-Insert Carbide Face Milling Cutter on CNC Machines. In: Hoang Tien, D., Solanki, V.K., Mahmud, J., Nguyen, T.D.L. (eds) *Proceedings of the 1st International Conference on Sustainability and Emerging Technologies for Smart Manufacturing. SETSM 2024. Proceedings in Technology Transfer*. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-97-7083-0_34 – URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-97-7083-0_34
- [3] Chen, Z., Huang, C., Liu, H. et al. Surface integrity and modification of SA508Gr.3Cl.2 RPV steel induced by high-speed face milling process. *Int J Adv Manuf Technol* 133, 2639–2653 (2024). <https://doi.org/10.1007/s00170-024-13803-5> – URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00170-024-13803-5#citeas> – URL: <https://mammp-journal.springeropen.com/articles/10.1186/s40759-020-00045-7#citeas>

- [4] Tuyboyov Oybek Valijonovich, Toshtemirov Kamol Qahramonovich Tool wear prediction and management strategies in high-speed machining environments // *Строительство и образование*. 2024. № Спецвыпуск 1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tool-wear-prediction-and-management-strategies-in-high-speed-machining-environments> (дата обращения: 27.04.2025).
- [5] Chen, G., Wu, K., Wang, Y. *et al.* Effect of rotational speed and feed rate on microstructure and mechanical properties of 6061 aluminum alloy manufactured by additive friction stir deposition. *Int J Adv Manuf Technol* 127, 1165–1176 (2023). <https://doi.org/10.1007/s00170-023-11527-6> - URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00170-023-11527-6#citeas>
- [6] Chhotaray, P., Behera, B.C., Mohamed, A., Muduli, K. (2024). Performance Evaluation of Inconel 800 Machining Under Dry Cutting Environment. In: Sahoo, S., Yedla, N. (eds) *Recent Advances in Mechanical Engineering. ICRAMERD 2023. Lecture Notes in Mechanical Engineering*. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-97-1080-5_24 - URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-97-1080-5_24#citeas
- [7] Chen, G., Wu, K., Wang, Y. *et al.* Effect of rotational speed and feed rate on microstructure and mechanical properties of 6061 aluminum alloy manufactured by additive friction stir deposition. *Int J Adv Manuf Technol* 127, 1165–1176 (2023). <https://doi.org/10.1007/s00170-023-11527-6> - URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00170-023-11527-6>
- [8] Bhise, V.Y., Jogi, B.F. (2023). Investigations on the Machining of Inconel X-750: Effect of Cutting Speed, Feed, Forces, Energy Consumption and MRR. In: Pradeep Pratapa, P., Saravana Kumar, G., Ramu, P., Amit, R.K. (eds) *Advances in Multidisciplinary Analysis and Optimization. NCMDAO 2021. Lecture Notes in Mechanical Engineering*. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-19-3938-9_39 - URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-19-3938-9_39
- [9] Mohsen Soori, Behrooz Arezoo Cutting tool wear prediction in machining operations, a review // *Journal of New Technology and Materials (JNTM)* - Vol. 12, N°02 (2022) – pp. 15-26 – URL: <https://hal.science/hal-03888252/document>
- [10] Bhushan, R.K. Impact of nose radius and machining parameters on surface roughness, tool wear and tool life during turning of AA7075/SiC composites for green manufacturing. *Mech Adv Mater Mod Process* 6, 1 (2020). <https://doi.org/10.1186/s40759-020-00045-7> -
- [11] Magdalena Łazińska, Tomasz Durejko, Tomasz Czujko, Zbigniew Bojar The Effect of the Traverse Feed Rate on the Microstructure and Mechanical

- Properties of Laser Deposited Fe₃Al (Zr,B) Intermetallic Alloy // Materials, May 2018 – V. 11 (5):792 - DOI: 10.3390/ma11050792 - URL: https://www.researchgate.net/publication/325152261_The_Effect_of_the_Traverse_Feed_Rate_on_the_Microstructure_and_Mechanical_Properties_of_Laser_Deposited_Fe3Al_ZrB_Intermetallic_Alloy.
- [12] Rajendra S Ghatode, Mahindra N Pande, Jeevan R Gaikwad Study of machining parameters while turning austenitic stainless steel AISI304 // International Journal of Academic Research and Development – V.3; Special Issue 2; March 2018 - pp. 14-20 – DOI: https://www.academia.edu/40352408/Study_of_machining_parameters_while_turning_austenitic_stainless_steel_AISI304
- [13] Sridhar Atla, Mulugundam Siva Surya Influence of Cutting Fluids on Tool Wear and Surface Roughness During Turning of Aisi 316 Austenitic Stainless Steel // International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT) - Vol. 6 Issue 07, July – 2017 – pp. 112-115 – URL: https://www.academia.edu/83611584/Influence_of_Cutting_Fluids_on_Tool_Wear_and_Surface_Roughness_During_Turning_of_Aisi_316_Austenitic_Stainless_Steel
- [14] D.L Zariatin, Reza Febriatna Analysis of Influence of Spindle Speed and Feeding Speed to Tool Wear and Surface Roughness // Journal of Energy Mechanical Material and Manufacturing Engineering_- Vol.1, No. 1, November 2016 - DOI: 10.22219/jemmme.v1i1.4480 – URL: https://www.researchgate.net/publication/318612191_Analysis_of_Influence_of_Spindle_Speed_and_Feeding_Speed_to_Tool_Wear_and_Surface_Roughness
- [15] C.H.Shen The importance of diamond coated tools for agile manufacturing and dry machining // Surface and Coatings Technology – V. 86–87, Part 2, 15 December 1996 - pp. 672-677 - DOI: 10.1016 - URL: [https://doi.org/10.1016/S0257-8972\(96\)02969-6](https://doi.org/10.1016/S0257-8972(96)02969-6)
- [16] Rajendrakumar V. Kadi, Suresh T. Dundur Optimization of dry turning parameters on surface roughness and hardness of Austenitic Stainless steel (AISI316) by Taguchi Technique // Journal of Engineering and Fundamentals - Vol. 2(2), pp. 30-41, December, 2015 – DOI: 10.17530 – URL: <http://dx.doi.org/10.17530/jef.15.14.2.2>
- [17] Muataz Hazza F. Al Hazza, Nabilah Bt Md Yusof, Nur Amirah Najwa, Mohd Eikhwan, Mohamad Khazairul, Assem Hatem Taha Experimental study of flank wear in high speed turning of stainless steel AISI 304 // Journal of Advanced Science and Engineering Research - Vol 3, No 2 June (2013) – pp. 96-103 – URL: https://www.academia.edu/64924423/Experimental_study_of_flank_wear_in_high_speed_turning_of_stainless_steel_AISI_304

- [18] Nithyanandhan.T, Manickaraj.K and Kannakumar.R. Optimization of Cutting Forces, Tool Wear and Surface Finish in Machining of AISI 304 Stainless Steel Material Using Taguchi's Method. // International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology, - Vol. 1 - Issue 4, June 2014. - pp. 488-493 – URL: https://ijiset.com/v1s4/IJISSET_V1_I4_85.pdf
- [19] M.Ramalinga Reddy, P.Ravi Kumar. G.Krishna mohana rao. Effect of feed rate on the generation of surface roughness in turning // International Journal of Engineering Science and Technology (IJEST) (November 2011) - Vol. 3 No. 11 – pp. 8099-8105 - URL: https://www.idc-online.com/technical_references/pdfs/mechanical_engineering/EFFECT%20OF%20FEED%20RATE%20ON%20THE%20GENERATION%20OF%20SURFACE%20ROUGHNESS%20IN%20TURNING.pdf
- [20] Ihsan Korkut, Mustafa Kasap, Ibrahim Ciftci, Ulvi Seker Determination of optimum cutting parameters during machining of AISI 304 austenitic stainless steel // Materials and Design – V. 25 (2004) – pp. 303–305 – URL: https://www.academia.edu/21778446/Determination_of_optimum_cutting_parameters_during_machining_of_AISI_304_austenitic_stainless_steel
- [21] Kyaturakis G., Baltrushaitis A., Rudak P. V., Kuis D. V. The effect of cutting and feeding speeds on the initial wear of wood-cutting tools // Proceedings of BSTU. 2014. - No. 2 – Forestry and woodworking industry – pp. 191-192 – URL: https://www.researchgate.net/publication/308750304_vlianie_skorostej_rezania_i_podaci_ha_nacalnyj_iznos_derevorezusego_instrumenta
- [22] Otenii Ya.N. et al. Forces and stresses on the surfaces of the cutting blade when cutting metals / Oteniy Ya.N., Muravyov O.P., Epov A.A., Tumenov T.N., Zhunusova A.Sh., Tkacheva Yu.O., Pleshakova E.A., Yerakhtina A.V. // Fundamental Research. 2012. - No. 6 (part 1) - C. 155-157 - URL: <https://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=29956>.
- [23] Cutting speed formula for automated calculation // Machine tool factory. Metalworking machines and tools – URL: <https://www.axissteel.ru/skorost-rezaniya/>
- [24] Zhigalov A. N., Shaturov D. G., Zholobov A. A., Rantsevich A. S. Influence of geometric parameters of microrelief on the front surface of a carbide blade tool and processing modes on the process of build-up at low and medium cutting speeds // Bulletin of the Belarusian-Russian University. 2020. №3 (68). - URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-geometricheskih-parametrov-mikroreliefa-na-peredney-poverhnosti-tverdosplavnogo-lezviynogo-instrumenta-i-rezhimov>.
- [25] Metal cutting modes. Guide. – 3rd ed., revised. and additional – M.: Mechanical engineering, 1972

- [26] Kudryavtsev V. N., Paramonova V. A. Computational models for determining the mechanical properties of some normalized steels // Progressive technologies and systems of mechanical engineering - № 4 (83)'2023 – C. 19-24 – URL: <https://ptsm.donntu.ru/arhiv%20nambe/pdf%20-83/019-024.pdf>