

УДК 621.9

**ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ОХЛАЖДЕНИЯ НА ФОРМУ СТРУЖКИ
В УСЛОВИЯХ СВОБОДНОГО И НЕСВОБОДНОГО РЕЗАНИЯ****д-р техн. наук, проф. Е.Э. ФЕЛЬДШТЕЙН, Р. МАРУДА**
(Зеленогурский университет, Зелена Гура, Польша)

Представлены результаты исследований форм стружки при свободном и несвободном точении стали R35 в условиях резания насухо и охлаждении сжатым воздухом и эмульсионным туманом. Для тонирования эксперимента использован метод ЛП-последовательностей.

Введение. Использование смазочно-охлаждающих жидкостей (СОЖ) при обработке резанием позволяет повысить период стойкости режущего инструмента, улучшить условия стружкообразования и свойства поверхностного слоя, снизить силы резания и т.д. Однако в настоящее время имеет место тенденция сокращения использования СОЖ, что связано как с технологическими, так и с экологическими факторами, в том числе и с все более жесткими международными нормами по охране окружающей среды [1,2]. Эксплуатация технологических систем в условиях использования СОЖ ставит перед производством ряд серьезных проблем [3]:

- компоненты СОЖ не должны оказывать отрицательного воздействия на здоровье производственного персонала и на окружающую среду;
- в ходе эксплуатации СОЖ не должны образовываться загрязнения на поверхностях станка, в том числе на защитных щитах и обзорных окнах;
- смазочно-охлаждающая жидкость в процессе резания должна расходоваться экономно, имея главным образом смазывающее и охлаждающее действия (для этого, в частности используются подача СОЖ через каналы в теле инструмента или через специально разработанные сопла);
- в ходе работы оборудования необходим непрерывный контроль СОЖ как с точки зрения ее эксплуатационных свойств, так и с точки зрения потерь СОЖ в системе охлаждения. Последнее обстоятельство может привести к снижению эффективности работы этой системы. Сокращение объема СОЖ в системе происходит по следующим причинам: испарение под действием высоких температур резания; разбрызгивание в ходе обработки; капли СОЖ после обработки остаются на удаляемых стружке и обрабатываемой детали, а при автоматической загрузке - на схватах автооператоров; утечки через уплотнения в системе подачи СОЖ.

Согласно [3], потери могут достигать до 30 % общего годового расхода СОЖ, что чревато значительными финансовыми потерями. Согласно данным [1, 2, 4], в автомобильной промышленности Германии стоимость эксплуатации СОЖ (доставка, непосредственное использование, восстановление и утилизация) составляют от 7 до 17 % общих производственных затрат. При этом стоимость используемых режущих инструментов равна 2...4 %.

Среди экологических факторов использования СОЖ следует выделить их существенное влияние на здоровье производственного персонала. В результате их использования возрастает вероятность дерматологических (до 30 % всех профессиональных заболеваний [2]), аллергических, онкологических заболеваний, вызванных воздействием на организм канцерогенных соединений.

Исключить вредное воздействие СОЖ можно в случае резания всухую либо с минимальным расходом технологической среды (*MQL - minimum quantity lubrication*). В случае, когда «чистого» резания всухую реализовать не удастся, возможной альтернативой является минимализация условий смазывания и охлаждения зоны резания, т.е. ведение в эту зону как можно меньшего количества СОЖ. Расход СОЖ в этом случае составляет менее 50 г/ч [5], т.е. инструмент, деталь и стружка остаются практически сухими. Активные составляющие технологической среды транспортируются в зону резания в струе сжатого воздуха (так называемый масляный или эмульсионный туман). В настоящее время резание всухую и в условиях MQL используются все более широко (табл. 1).

Обработка в условиях MQL не снижает периодов стойкости режущего инструмента [6], поскольку обеспечивает лучшие условия смазывания и охлаждения контактных поверхностей «лезвие - стружка - обрабатываемая деталь». Присутствие на поверхностях контакта активных составляющих, входящих в состав микрокапель эмульсии, может изменять основные показатели процесса резания, в частности характер стружкообразования.

Условия исследований. Исследовались формы стружки при точении низкоуглеродистой (0,07...0,16 % С) стали R35 (PN-89/H-84023/07), используемой в производстве труб. Данная сталь имеет повышенные механические характеристики: твердость 125 НВ, временное сопротивление 350 МПа, предел текучести 235 МПа, относительное удлинение 25 %. Структура стали ферритно-перлитная (рис. 1).

Таблица 1

Области применения новых способов охлаждения зоны резания [3]

Способ обработки	Обрабатываемый материал				Серые чугуны
	Алюминиевые сплавы		Стали		
	силумины	дюралюмины	высоколегированные	конструкционные, в том числе закаленные	
Сверление	MQL	MQL	MQL	vsухую/MQL	vsухую/MQL
Развертывание	MQL	MQL	MQL	MQL	MQL
Нарезание резьбы	MQL	MQL	MQL	MQL	MQL
Глубокое сверление	MQL	MQL	-	MQL	MQL
Фрезерование	vsухую/MQL	MQL	vsухую	vsухую	vsухую
Точение	vsухую/MQL	vsухую/MQL	vsухую	vsухую	vsухую
Зубофрезерование	-	-	vsухую	vsухую	vsухую
Отрезка	MQL	MQL	MQL	MQL	MQL
Протягивание	-	-	MQL	vsухую/MQL	vsухую

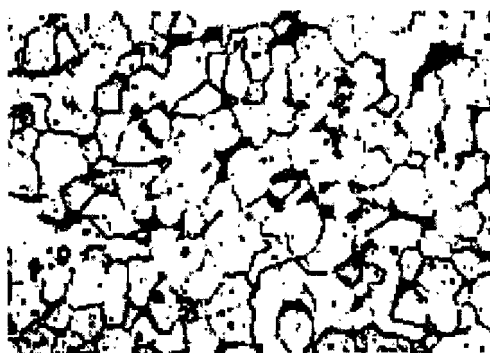


Рис. 1. Микроструктура стали R35

Рассматривалось два случая резания - свободное и несвободное. Свободное резание реализовывалось в условиях точения торца трубы широким резцом из твердого сплава; передний угол реза - 0° ; задний угол - 8° ; ширина резания - 5 мм.

Несвободное резание осуществлялось при продольном точении вала токарным резцом со сменной квадратной пластиной SNUN120408; главный угол реза в плане - 70° , главный передний угол равен -7° ; главный задний угол - 7° .

Плоская передняя поверхность резцов позволила исключить влияние стружкозавивающих и стружколомающих канавок на формирование стружки; глубина резания - 1 мм.

Сравнивались стружки при обработке vsухую, при обработке с охлаждением зоны резания струей сжатого воздуха и в эмульсионном тумане. Последний генерировался в приспособлении, имеющем сопла для регулирования расхода сжатого воздуха и эмульсии. В качестве эмульсии использовался водный раствор эмульсола OPORTET RG-2 с концентрацией 4 %. Давление воздуха 0,2 МПа. После тарировки найдены уравнения регрессии для расчета количества N микрокапель эмульсии, находящихся на 1 мм² охлаждаемой поверхности, и их средний диаметр D :

$$N = 2,56L^{0,58}E^{0,19}P^{1,772} \text{ (шт./мм}^2\text{)};$$

$$D = 35,9L^{-2,368}E^{1,094}P^{-2,914} \text{ (мкм)},$$

где L - расстояние сопла от охлаждаемой поверхности, м; E - расход эмульсии, г/мин; P - расход сжатого воздуха, м³/ч.

Исследования проводились в следующих диапазонах: скорость резания - 80...450 м/мин; подача - 0,1...0,5 мм/об; расход эмульсии - 1,5...3,5 г/мин и сжатого воздуха - 4,5...7 м³/ч.

Планирование исследований. Для сокращения объема исследований использовался план, базирующийся на ЛП_т-последовательностях [7]. В этом случае экспериментальные точки размещаются в многомерном пространстве таким образом, что их проекции на оси $X_1 - X_2, X_2 - X_3, \dots, X_1 - X_j$ находятся на одинаковых расстояниях друг от друга (рис. 2). Координаты точек исследований можно найти, принимая $X_{\min} = 0$ и $X_{\max} = 1$ (табл. 2). Легко заметить, что, реализовав эксперимент в 7 точках, можно анализировать зависимость $Y = f(X_i)$ в 7 значениях абсциссы любой оси X_i .

Таблица 2

Координаты точек исследований

Факторы	Точки исследований						
	1	2	3	4	5	6	7
X_1	0,5000	0,2500	0,7500	0,8750	0,3750	0,6250	0,1250
X_2	0,5000	0,7500	0,2500	0,6250	0,1250	0,3750	0,8750
X_3	0,5000	0,2500	0,7500	0,1250	0,6250	0,3750	0,8750
X_4	0,5000	0,7500	0,2500	0,1250	0,6250	0,8750	0,3750

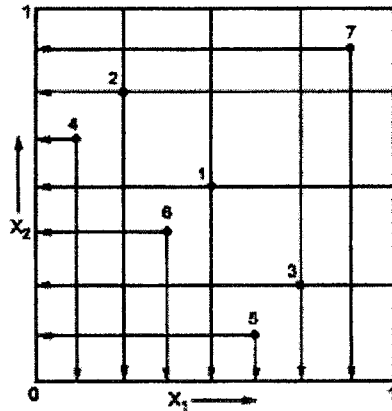


Рис. 2. Проекция 7 точек последовательности ЛП₇ на оси $X_1 - X_2$

Результаты исследований. Исследовались изменения формы стружки при различных сочетаниях скорости резания, подачи и условий охлаждения (рис. 3 - 6).

В условиях свободного резания высокопластичной малоуглеродистой стали R35 форма стружки практически не изменяется. Стружка имеет вид «путанки», более или менее компактной.

При несвободном резании влияние условий охлаждения гораздо более заметно. Область формирования стружки в виде коротких отрезков спирали или элементной стружки расширяется в направлении обработка всухую → охлаждение струей сжатого воздуха → охлаждение эмульсионным туманом. В последнем случае дробленая стружка образуется в широком диапазоне скоростей резания и подач, причем на условия ее дробления слабо влияют как расход эмульсии, так и расход сжатого воздуха. Только при более значительном (свыше 3 г/мин) расходе эмульсии стружка сохраняет свою исходную форму в виде «путанки». Можно считать, что в этом случае обработка в условиях MQL теряет свою эффективность.

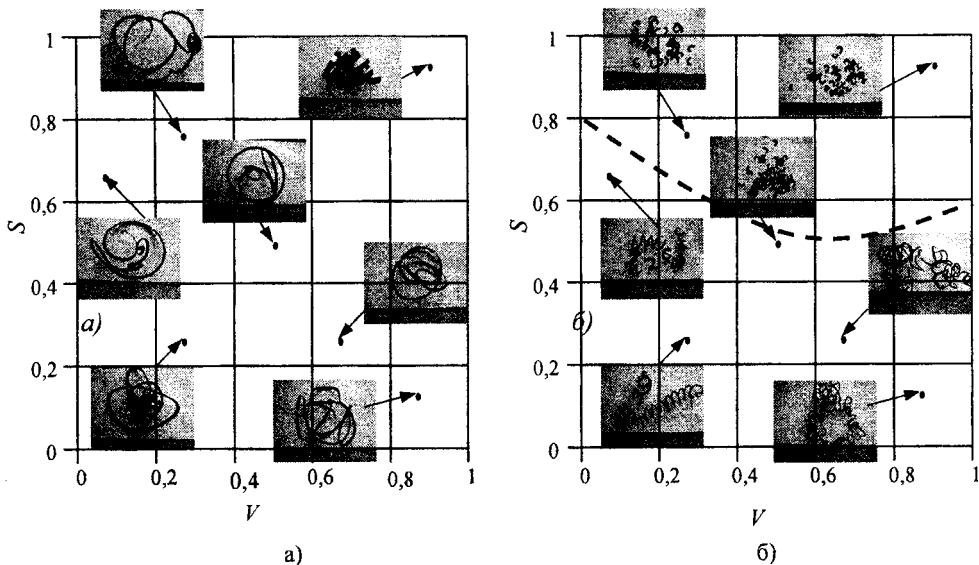


Рис. 3. Формы стружки при обработке всухую: а - свободное резание; б - несвободное резание

(здесь и далее пунктирная линия показывает области, характерные для различных форм стружки)

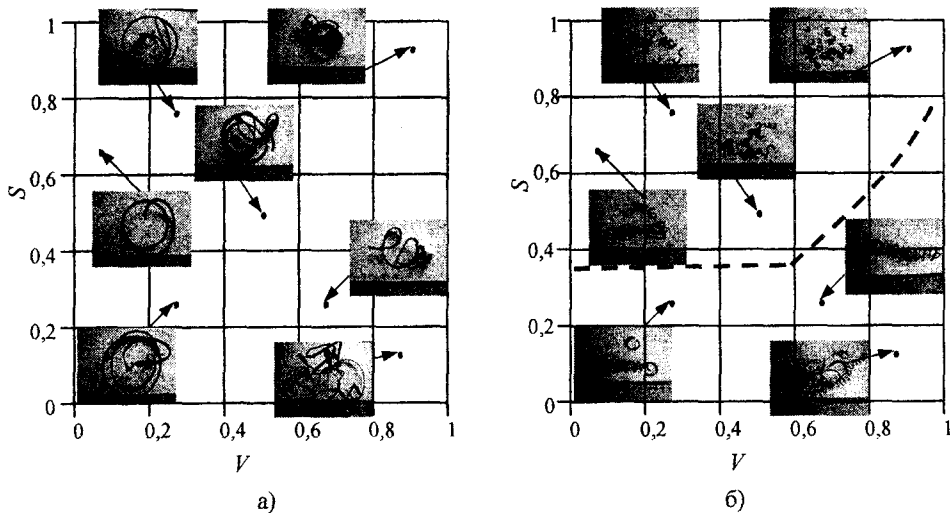


Рис. 4. Формы стружки при обработке с охлаждением сжатым воздухом:
 а - свободное резание; б - несвободное резание

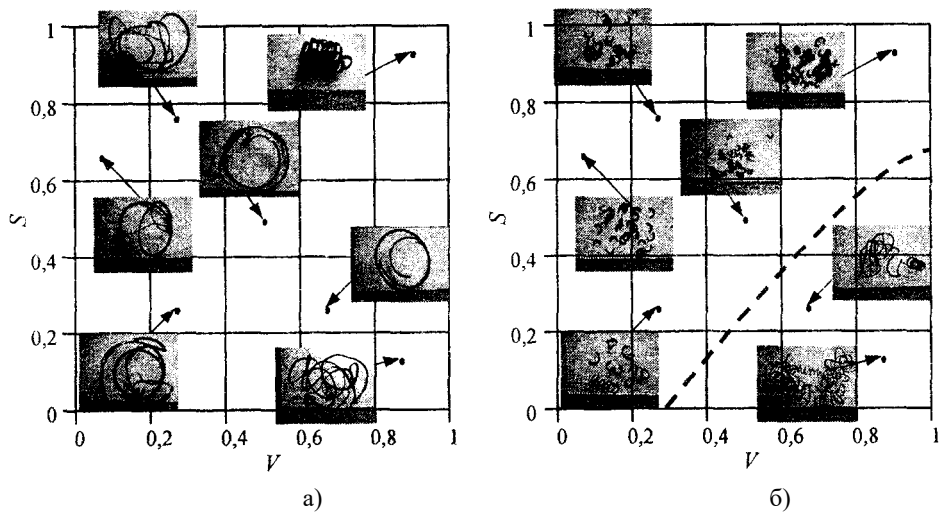


Рис. 5. Формы стружки при обработке с охлаждением эмульсионным туманом:
 а - свободное резание; б - несвободное резание

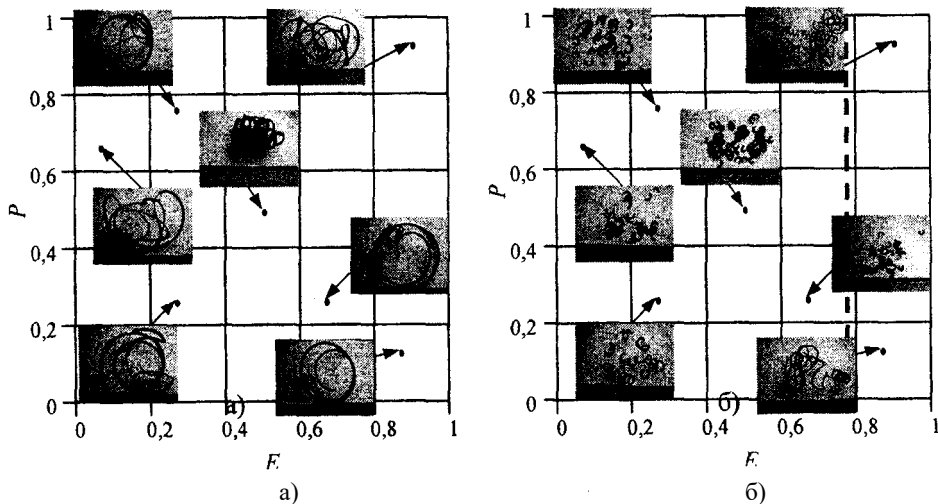


Рис. 6. Влияние условий генерирования эмульсионного тумана на форму стружки:
 а - свободное резание; б - несвободное резание

Выводы

1. В условиях свободного резания условия охлаждения не влияют на форму стружки, которая имеет вид «путанки».
2. В условиях несвободного резания способ охлаждения зоны резания оказывает существенное влияние на условия формирования стружки.
3. Область скоростей резания и подач, в которой стружка формируется в виде коротких отрезков спирали, расширяется в направлении обработки всухую → охлаждение струей сжатого воздуха → охлаждение эмульсионным туманом, т.е. охлаждение эмульсионным туманом более эффективно, чем прочие способы охлаждения. Образующаяся при этом стружка легко отводится из зоны резания и не повреждает обработанную поверхность.

ЛИТЕРАТУРА

1. Gente A., Hoffmeister H.W. Chip Formation in Machining Ti6Al14V at Extremely High Cutting Speeds // Annals of CIRP. - 2001. - Vol. 50, № 1. - S. 49 - 52.
2. Schulz H. Hochgeschwindigkeitsbearbeitung. High-Speed Machining. München, Wien: Carl Hanser Verlag, 1996.-286 s.
3. Byrnel G., Domfeld D., Denkena B. Advancing Cutting Technology//Annals of CIRP. - 2003. - V. 52, № 2. - P. 483 -509.
4. Cselle T., Barimani A. Today's applications and future developments of coatings for drill and rotating cutting tools// Surface & Coating Technology. - 1995. - Vol. 76 - 77. - S. 712 - 718.
5. Trockenbearbeitung ist wirtschaftlich und umweltfreundlich// Maschinenmarkt. - 2001. - № 29. - S. 20 - 23.
6. Oczos K.E. Rozwoj innowacyjnych technologii ubytkowego kształtowania materialow. Cz. I. Obrobka skrawaniem // Mechanik. - 2002. - № 8 - 9. - S. 537 - 550.
7. Соболев И.М., Статников Р.Б. Выбор оптимальных параметров в задачах с многими критериями. - М.: Наука, 1981. -110 с.