

Машиностроение и машиноведение

УДК 621.9.042:621.787

doi: 10.18698/0536-1044-2019-4-3-10

Температура зоны механической обработки при формировании упрочненного слоя методом деформирующего резания

С.Г. Васильев, Я.И. Шуляк

МГТУ им. Н.Э. Баумана

The Temperature in the Cutting Zone when Applying Deformational Cutting to Form a Hardened Layer

S.G. Vasiliev, Y.I. Shulyak

Bauman Moscow State Technical University

Деформирующее резание является перспективным методом повышения износоустойчивости поверхностей трения путем создания на них деформационно-упрочненного поверхностного слоя. К важным факторам, влияющим на процесс деформирующего резания, относится температура в зоне обработки. В связи с этим определение расчетных зависимостей для ее прогнозирования становится актуальной задачей. Исследовано изменение температуры при деформирующем резании незакаливаемой аустенитной стали с целью формирования упрочненного слоя в зависимости от режимных параметров: подачи, глубины и скорости резания. Аустенитная сталь выбрана в качестве перспективного материала для деформационного упрочнения методом деформирующего резания. Измерения температуры проведены методом естественной термопары. Получена эмпирическая формула для расчета температуры зоны резания в зависимости от параметров режима резания.

Ключевые слова: деформирующее резание, температура зоны резания, деформационное упрочнение, упрочненный макрорельеф

Deformational cutting is a promising method of increasing wear resistance of friction surfaces by creating a strain hardened surface layer on them. An important factor influencing the deformational cutting process is the temperature in the cutting zone, therefore, it is necessary to obtain calculation formulas for predicting it. In this paper, the temperature change during deformational cutting of non-hardened austenitic steel in order to form a hardened layer was studied in relation to the cutting parameters: cutting depth, feed and cutting speed. Austenitic steel was selected as a promising material for strain hardening by the deformational cutting method. Temperature measurements were carried out using the natural thermocouple method. An empirical formula for calculating the temperature in the cutting zone depending on the cutting parameters was obtained.

Keywords: deformational cutting, cutting zone temperature, strain hardening, hardened macrorelief

Создание на рабочих поверхностях деталей машин и механизмов упрочненного слоя с высокими эксплуатационными свойствами является важной задачей машиностроения. Существует много технологических способов упрочнения рабочей поверхности детали, среди которых наиболее широкое распространение получили диффузионные и термические. Деформационные способы упрочнения поверхностного слоя часто используют для повышения поверхностной твердости деталей из закаливаемых материалов.

Следует отметить, что указанные способы имеют ряд недостатков, в числе которых высокие энергозатраты, значительная продолжительность рабочего процесса, необходимость применения сложных инструментальных приспособлений и металлоемкого оборудования, ограничения по толщине упрочненного поверхностного слоя (УПС), неравномерность распределения свойств УПС по его толщине и экономическая нецелесообразность получения УПС большой толщины.

Наиболее интересны способы создания УПС большой толщины с равномерным распределением твердости по ней при использовании универсального оборудования с малыми временными затратами на технологический процесс формирования УПС. Особый интерес представляют способы получения УПС с помощью простых по конструкции инструментов на универсальном оборудовании с малыми энергозатратами.

Новый технологический метод создания УПС на наружной поверхности стальной детали — деформирующее резание (ДР) [1, 2]. Этот метод способен создавать регулярный упрочненный макрорельеф на наружной поверхности цилиндрической заготовки с целью повышения износостойкости полученной поверхности [3, 4].

Процесс ДР реализуется по традиционным схемам точения или строгания [5]. Макрорельеф формируют инструментом со специальной геометрией режущей части [6]. При вращении заготовки главная режущая кромка инструмента для ДР подрезает слой металла, который перемещается по передней поверхности инструмента с последующей деформацией его вспомогательной кромкой (рис. 1).

Регулярный макрорельеф представляет собой не отделившуюся от заготовки стружку, прочно соединенную с основным материалом заготовки. В зоне главной и вспомогательной режущих кромок подрезаемый слой металла

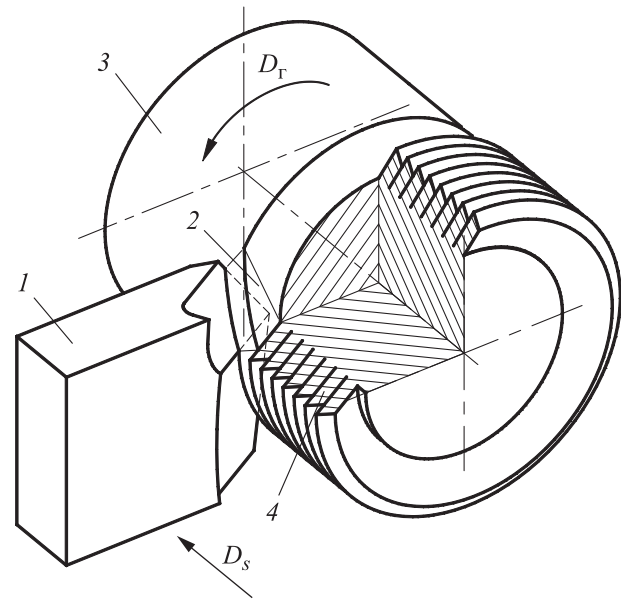


Рис. 1. Схема формирования упрочненного макрорельефа методом ДР:

1 — инструмент для ДР; 2 — зона деформационного упрочнения; 3 — заготовка; 4 — упрочненный слой;
 D_r — главное движение резания;
 D_s — движение подачи

пластически деформируется, в результате чего происходит его упрочнение. В итоге на наружной поверхности заготовки формируется регулярный УПС.

Упрочнение поверхностного слоя при пластической деформации происходит путем увеличения плотности дислокаций в деформированном материале [7]. На прочностные свойства создаваемого макрорельефа значительное влияние оказывает эффект разогрева подрезаемого слоя обрабатываемого материала. Так, при высокой скорости обработки закаливаемых материалов достигаются температуры структурно-фазового перехода, благодаря чему формируется закаленный упрочненный слой [8, 9].

В данной работе предложен способ увеличения поверхностной твердости у незакаливаемых материалов (к которым относится коррозионно-стойкая аустенитная сталь марки 08X18H10T) путем деформационного упрочнения подрезаемого слоя материала при ДР [10]. Из этой стали изготавливают детали, работающие в коррозионных средах: валы, втулки, узлы трения скольжения и направляющие. Многие валы имеют рабочие поверхности с повышенными требованиями по твердости и прочности, например посадочные поверхности под подшипники.

Особенностью стали марки 08X18H10T является сложность создания УПС вследствие

невозможности повышения ее твердости термической обработкой, как это делается на конструкционных сталях. К основным способам повышения поверхностной твердости таких сталей относится широко используемое поверхностное пластическое деформирование [11]. Этот способ предполагает применение сложных металлоемких инструментальных приспособлений и переоборудование стандартного металлорежущего оборудования.

Устойчивое формирование макрорельефа методом ДР зависит от исходного состояния и механических свойств обрабатываемого материала. При определенных условиях подрезаемый слой отделяется от заготовки и сходит в виде стружки [12], из-за чего упрочненный слой не образуется.

Важным параметром, влияющим на устойчивость процесса формирования макрорельефа, является пластичность обрабатываемого материала, оцениваемая с помощью коэффициента относительного удлинения δ . У большинства конструкционных сталей с повышением температуры коэффициент относительного удлинения увеличивается, а у сталей аустенитного класса уменьшается.

На рис. 2 приведена зависимость коэффициента относительного удлинения δ стали марки 08X18H10T от температуры [13].

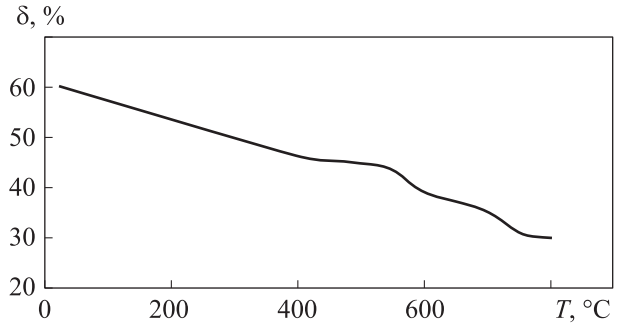


Рис. 2. Зависимость относительного удлинения δ стали 08X18H10T от температуры T

Увеличение скорости резания при формировании регулярной макроструктуры методом ДР ведет к повышению температуры в зоне резания, в связи с чем при обработке стали марки 08X18H10T уменьшается ее пластичность. Это приводит к преждевременному износу инструмента для ДР и нарушению сплошности получаемого упрочненного макрорельефа.

Таким образом, температура в зоне ДР при обработке аустенитных сталей является важным параметром, определяющим в итоге длительность работы инструмента для ДР при заданной производительности.

Цель работы — анализ температуры в зоне ДР при обработке стали марки 08X18H10T и

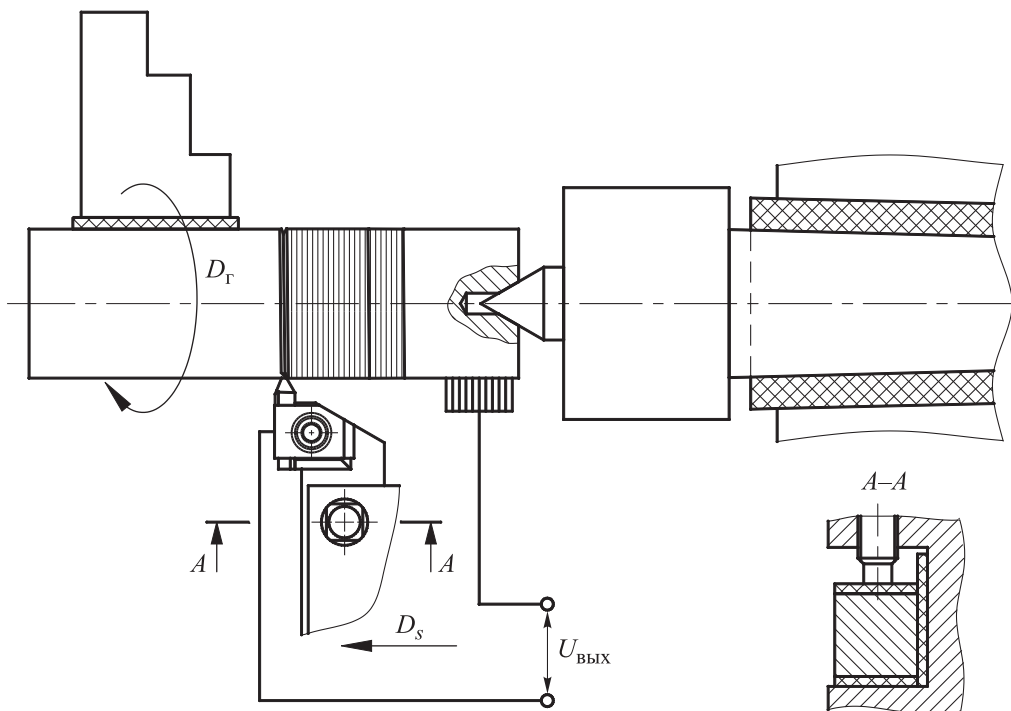


Рис. 3. Схема измерения температуры при ДР методом естественной термопары:
 $U_{\text{вых}}$ — выходное напряжение термопары

определение функциональных зависимостей температуры от параметров режима резания.

При обработке указанной стали проведены измерения температуры в зоне ДР методом естественной термопары, хорошо зарекомендовавшим себя как в научной [14], так и учебной литературе [15]. Этот метод может быть автоматизирован с помощью специальных диагностических стендов [16].

Эксперимент по измерению температуры выполняли при обработке стали марки 08X18H10T инструментом для ДР из твердого сплава марки ВК8. Исследования проводили на токарно-винторезном станке модели 16К20. Для изоляции заготовки в трехкулачковом патроне использовали текстолитовые пластины, зажатые между поверхностями кулачков и заготовки, а для исключения контакта вращающегося центра с пинолей задней бабки — текстолитовую втулку. Корпус резца изолировали от резцедержателя текстолитовыми пластинами (рис. 3.) В процессе эксперимента измеряли термоЭДС (мВ), которую пересчитывали в температуру по тарировочной зависимости для пары материалов 08X18H10Т—ВК8.

Для получения тарировочной зависимости исследуемой пары материалов изготовили искусственную термопару из стержня сплава марки ВК8 и образца стали марки 08X18H10Т, выре-

занного из исследуемой заготовки. Искусственную термопару изготовили методом конденсаторной сварки. Спаи термопары нагревали до различных температур в рабочей среде, температуру которой контролировали с помощью эталонной хромель-алюмелевой термопары (рис. 4).

Для тарировки пары с различными температурами использовали воду и расплав олова в диапазоне температур 0...90 °С и 258...680 °С соответственно. Значения измеряемой термоЭДС от искусственной термопары при разных температурах рабочей среды приведены в табл. 1. Экспериментальные данные аппроксимировали методом наименьших квадратов линейной зависимостью

$$T = 53,533\Delta U + 13,269, \text{ } ^\circ\text{C},$$

где ΔU — термоЭДС, мВ.

Температуру в зоне резания при ДР измеряли, варьируя следующие режимные параметры:

- глубину резания t в пределах 0,5...2,0 мм с шагом 0,25 мм при постоянной продольной подаче $S_0 = 0,4$ мм/об и скорости резания $v = 0,75$ м/с;
- продольную подачу S_0 в диапазоне 0,2...0,4 мм/об с шагом 0,1 мм/об при $t = 1$ мм и $v = 0,88$ м/с;
- скорость резания v в интервале 0,71...1,32 м/с при $t = 1$ мм и $S_0 = 0,4$ мм/об.

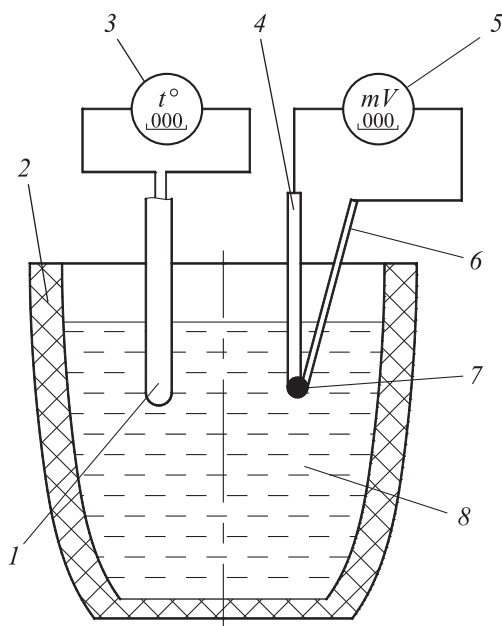


Рис. 4. Схема тарировки естественной термопары: 1 — искусственная термопара; 2 — теплоизолирующий сосуд; 3 — цифровой термометр; 4 — твердый сплав ВК8; 5 — цифровой милливольтметр; 6 — сталь 08X18H10Т; 7 — место спая; 8 — рабочая среда

Таблица 1

Результаты тарирования термопары 08X18H10Т—ВК8

ΔU , мВ	T , °С	ΔU , мВ	T , °С
-0,4	0	7,0	362
1,0	77,3	7,4	375
1,2	85,1	7,5	371
1,2	82,3	7,6	630
5,2	258	8,3	330
5,3	295	8,5	550
5,6	289,9	8,7	560
5,7	266	9,3	512
5,9	306	10,4	724
6,0	325	10,6	600
6,2	451	11,2	600
6,7	285	12,1	633
6,7	405	12,4	640
6,9	261	13,4	680

Таблица 2

Значения температуры в зоне резания при ДР для различных режимов резания

<i>t</i> , мм	<i>S</i> ₀ , мм/об	<i>v</i> , м/с	ΔU , мВ	<i>T</i> , °С
0,5	0,4	0,75	12,8	699
1,0	0,4	0,75	16,0	870
1,5	0,4	0,75	17,0	924
2,0	0,4	0,75	19,0	1031
1,0	0,2	0,88	13,1	715
1,0	0,3	0,88	14,9	811
1,0	0,4	0,88	16,0	870
1,0	0,4	0,71	14,5	790
1,0	0,4	0,82	15,3	833
1,0	0,4	0,88	16,0	870
1,0	0,4	1,04	15,4	838
1,0	0,4	1,32	17,5	950

Результаты измерения температуры в зоне резания при ДР для различных режимов резания приведены в табл. 2.

Диапазоны варьируемых параметров выбрали из следующих соображений. При глубине резания *t* < 0,5 мм формируется упрочненный слой с малой высотой, который может быть получен другими методами, например, поверхностным пластическим деформированием. При превышении глубины резания *t* = 2 мм возрастает температура, что ускоряет износ режущего инструмента и повышает вероятность скола вершины резца.

Продольную подачу *S*₀ < 0,2 мм/об не устанавливали, так как при меньшей подаче и глубине резания *t* > 0,8 мм макрорельеф не образовывался и сходил в виде стружки с обрабатываемой поверхности заготовки вследствие недостаточной пластичности подрезаемого слоя материала.

При продольной подаче *S*₀ > 0,4 мм/об и глубине резания *t* > 2 мм интенсивность изна-

шивания режущего инструмента значительно возростала с последующим сколом режущей части. Нижнюю границу скорости резания ограничили *v* = 0,71 м/с, так как на практике обработка с меньшими скоростями нецелесообразна из-за снижения производительности создания упрочненной поверхности. Формирование макрорельефа со скоростью *v* > 1,32 м/с сопровождалось интенсивным износом инструмента вследствие повышения температуры в зоне резания.

Результаты каждой серии экспериментов аппроксимировали частной функциональной зависимостью температуры от соответствующего варьируемого параметра. В качестве аппроксимирующей зависимости применяли степенную функцию

$$y = ax^b,$$

где *y* и *x* — измеряемый и варьируемый параметры; *a* и *b* — коэффициент и степень, определяемые методом наименьших квадратов.

Частные зависимости для определения температуры в зоне резания, полученные в результате аппроксимации, приведены в табл. 3. Коэффициент детерминации *R*² частных зависимостей близок к единице.

По результатам всех экспериментов установлена зависимость

$$T = C_T t^{m_t} S_0^{m_s} v^{m_v},$$

где *C*_{*T*} — коэффициент, определяемый методом наименьших квадратов; *m*_{*t*}, *m*_{*s*}, *m*_{*v*} — показатели степеней, принятые равными соответствующим показателям степеней частных зависимостей.

Коэффициент детерминации составил 0,914. Окончательная формула для определения температуры в зоне резания в зависимости от режимов резания имеет следующий вид

$$T = 1158,7t^{0,2699}S_0^{0,2849}v^{0,2571}, \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Таблица 3

Частные зависимости для определения температуры в зоне резания

Постоянные параметры	Переменный параметр	Диапазон варьирования параметра	Частная зависимость	Коэффициент детерминации <i>R</i> ²
<i>S</i> ₀ = 0,4 мм/об, <i>v</i> = 0,75 м/с	<i>t</i>	0,5...2 мм	$T = 848,88t^{0,2699}$	0,9836
<i>t</i> = 1 мм, <i>v</i> = 88 м/с	<i>S</i> ₀	0,2...0,4 мм/об	$T = 1134,4S_0^{0,2849}$	0,9958
<i>t</i> = 1 мм, <i>S</i> ₀ = 0,4 мм/об	<i>v</i>	0,71...1,32 м/с	$T = 870,18v^{0,2571}$	0,8001

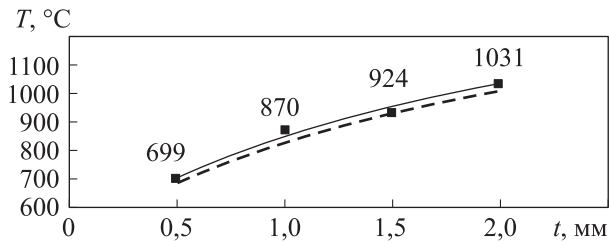


Рис. 5. Зависимости температуры T в зоне резания при ДР от глубины резания t :

■ — экспериментальные данные; — и - - - функции, полученные путем аппроксимации по частному $T = 848,88t^{0,2699}$ и общему $T = 1158,7t^{0,2699}S_0^{0,2849}v^{0,2571}$ выражениям

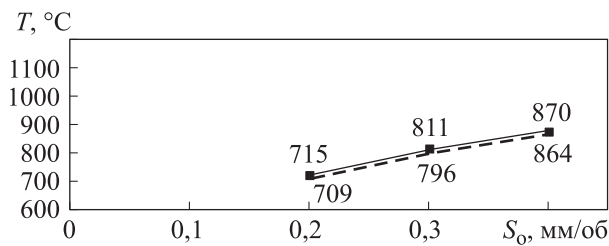


Рис. 6. Зависимость температуры T в зоне резания при ДР от подачи S_0 :

■ — экспериментальные данные; — и - - - функции, полученные путем аппроксимации по частному $T = 1134,4S_0^{0,2849}$ и общему $T = 1158,7t^{0,2699}S_0^{0,2849}v^{0,2571}$ выражениям

Модуль максимального относительного отклонения составил 7,6 % для температуры, измеренной при $t = 1$ мм, $S_0 = 0,4$ мм, $v = 1,04$ м/с. Во всех остальных случаях относительное отклонение аппроксимированных значений от экспериментально измеренных не превышало 5 %.

Результаты измерения температуры при различных режимах резания и аппроксимированные значения температуры приведены на рис. 5–7. На рис. 7 дополнительно представле-

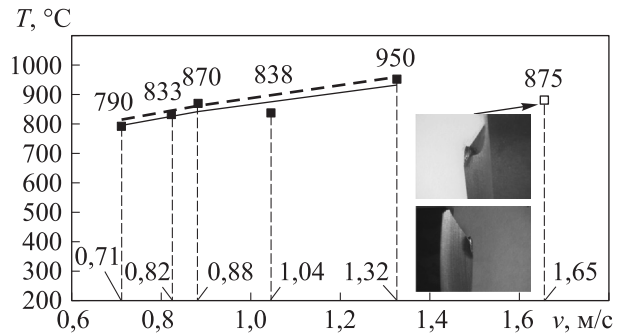


Рис. 7. Зависимость температуры T в зоне резания при ДР от скорости резания v :

■ — экспериментальные данные; — и - - - функции, полученные путем аппроксимации по частному $T = 870,18v^{0,2571}$ и общему $T = 1158,7t^{0,2699}S_0^{0,2849}v^{0,2571}$ выражениям; □ — превышение температуростойкости резца

ны фотографии, демонстрирующие износ режущей пластины в результате ее нагрева при скорости резания $v = 1,65$ м/с. Измеренное значение температуры в показанной точке меньше, чем при $v = 1,32$ м/с, что объясняется катастрофическим износом инструмента, приводящим к снижению глубины резания с последующим уменьшением тепловыделения.

Выводы

1. Определена функциональная зависимость температуры в зоне ДР от режимов резания при формировании упрочненного слоя на образце из стали марки 08X18H10T. Полученная функциональная зависимость позволяет прогнозировать значения температуры в зоне резания в процессе ДР с точностью до 8 %.

2. Скорость формирования упрочненного макрорельефа более 1,3 м/с приводит к интенсивному износу инструмента для ДР.

Литература

- [1] Зубков Н.Н., Овчинников А.И. Способ получения поверхностей с чередующимися выступами и впадинами (варианты) и инструмент для его осуществления. Пат. № 2044606 РФ, 1995, бюл. № 27.
- [2] Зубков Н.Н. Разработка и исследование метода деформирующего резания как способа формообразования развитых макрорельефов. Автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Москва, 2001. 32 с.
- [3] Зубков Н.Н., Васильев С.Г. Повышение износостойкости деталей пар трения скольжения на основе метода деформирующего резания. Упрочняющие технологии и покрытия, 2013, № 8, с. 3–9.
- [4] Васильев С.Г. Разработка метода деформирующего резания для создания упрочняющих композиционных покрытий. Дис. ... канд. техн. наук. Москва, 2001. 223 с.

- [5] Васильев А.С., Кутин А.А., ред. *Справочник технолога-машиностроителя*. В. 2. т. Т. 2. Москва, Инновационное машиностроение, 2018. 818 с.
- [6] Шуляк Я.И. Особенности деформационного упрочнения поверхностного слоя деталей методом деформирующего резания. *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*, 2015, № 3(660), с. 3–10, doi: 10.18698/0536-1044-2015-3-3-10
- [7] Shetty M.N. *Dislocation and mechanical behaviour of materials*. Delhi, PHI Learning Private Limited, 2013. 975 p.
- [8] Зубков Н.Н., Васильев С.Г., Попцов В.В. *Способ поверхностного закалочного упрочнения режущо-деформирующим инструментом*. Пат. № 2556897 РФ, 2015, бюл. № 20.
- [9] Зубков Н.Н., Васильев С.Г., Попцов В.В. Особенности закалочного деформирующего резания. *Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты)*, 2018, т. 20, № 2, с. 35–49, doi: <http://dx.doi.org/10.17212/1994-6309-2018-20.2-35-49>
- [10] Шуляк Я.И. *Разработка и исследование способа деформационного упрочнения поверхностей деталей методом деформирующего резания*. Дис. ... канд. техн. наук. Москва, 2017. 233 с.
- [11] Браславский В.М. *Технология обкатки крупных деталей роликами*. Москва, Машиностроение, 1975. 160 с.
- [12] Zubkov N.N., Ovchinnikov A.I., Vasil'ev S.G. Tool–Workpiece Interaction in Deformational Cutting. *Russian Engineering Research*, 2016, vol. 36, no. 3, pp. 209–212, doi: 10.3103/S1068798X16030217
- [13] Сорокин В.Г., ред. *Марочник сталей и сплавов*. Москва, Машиностроение, 1989. 640 с.
- [14] Zubkov N., Poptsov V., Vasiliev S. Surface Hardening by Turning without Chip Formation. *Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering*, 2017, vol. 36, no. 1, pp. 209–212.
- [15] Малькова Л.Д., Булошников В.С., Васильев С. Г., Мальков О.В., Сыроегин И.А., Черкасов А.С., Павлюченков И.А., Виноградов Д.В., Шуляк Я.И. *Физические основы механической и физико-технической обработки материалов*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2016. 88 с.
- [16] Древаль А.Е., Васильев С.Г., Виноградов Д.В., Мальков О.В. Контрольно-измерительный диагностический стенд для экспериментальных исследований в технологии механической обработки. *Наука и Образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана*, 2014, № 12, с. 22–58. URL: <http://engineering-science.ru/file/755417.htmls=1> (дата обращения 09 апреля 2018), doi: 10.7463/1214.0749286

References

- [1] Zubkov N.N., Ovchinnikov A.I. *Sposob polucheniya poverkhnostey s chereduyushchimisya vystupami i vpadinami (varianty) i instrument dlya ego osushchestvleniya* [The method of obtaining surfaces with alternating protrusions and depressions (options) and a tool for its implementation]. Patent RF no. 2044606, 1995.
- [2] Zubkov N.N. *Razrabotka i issledovanie metoda deformiruyushchego rezaniya kak sposoba formoobrazovaniya razvitykh makrorel'efov*. Avtoref. Dokt. Diss. [Development and research of the method of deforming cutting as a method of forming developed macroreliefs. Abstract Doct. Diss.]. Moscow, 2001. 32 p.
- [3] Zubkov N.N., Vasil'ev S.G. Wear resistance improvement based on deformational cutting. *Uprochnyayushchie tekhnologii i pokrytiya*, 2013, no. 8, pp. 3–9 (in Russ.).
- [4] Vasil'ev S.G. *Razrabotka metoda deformiruyushchego rezaniya dlya sozdaniya uprochnyayushchikh kompozitsionnykh pokrytij*. Kand. Diss. [Development of a method of deforming cutting to create reinforcing composite coatings. Cand. Diss.]. Moscow, 2001. 223 p.
- [5] *Spravochnik tekhnologa-mashinostroitelya* [Directory technologist-mechanical engineer]. Vol. 2. Ed. Vasil'ev A.S., Kutin A.A. Moscow, Innovatsionnoe mashinostroenie publ., 2018. 818 p.
- [6] Shulyak Ya.I. Peculiarities of the strain hardening of surface layers of parts by deformational cutting. *Proceedings of Higher Educational Institutions. Machine Building*, 2015, no. 3(660), pp. 3–10 (in Russ.), doi: 10.18698/0536-1044-2015-3-3-10
- [7] Shetty M.N. *Dislocation and mechanical behaviour of materials*. Delhi, PHI Learning Private Limited, 2013. 975 p.

- [8] Zubkov N.N., Vasil'ev S.G., Poptsov V.V. *Sposob poverkhnostnogo zakalochnogo uprochneniya rezhushche-deformiruyushchim instrumentom* [The method of surface hardening cutting and deforming tool]. Patent RF no. 2556897, 2015.
- [9] Zubkov N.N., Vasil'ev S.G., Poptsov V.V. Features of Quench Deformational Cutting. *Metal working and material science*, 2018, vol. 20, no. 2, pp. 35–49 (in Russ.), doi: <http://dx.doi.org/10.17212/1994-6309-2018-20.2-35-49>
- [10] Shulyak Ya.I. *Razrabotka i issledovanie sposoba deformatsionnogo uprochneniya poverkhnostey detaley metodom deformiruyushchego rezaniya*. Kand. Diss. [Development and research of the method of deformation hardening of parts surfaces by the method of deforming cutting. Cand. Diss.]. Moscow, 2017. 233 p.
- [11] Braslavskiy V.M. *Tekhnologiya obkatki krupnykh detaley rolikami* [Technology running large parts rollers]. Moscow, Mashinostroenie publ., 1975. 160 p.
- [12] Zubkov N.N., Ovchinnikov A.I., Vasil'ev S.G. Tool–Workpiece Interaction in Deformational Cutting. *Russian Engineering Research*, 2016, vol. 36, no. 3, pp. 209–212, doi: 10.3103/S1068798X16030217
- [13] *Marochnik staley i splavov* [Marker of steel and alloys]. Ed. Sorokin V.G. Moscow, Mashinostroenie publ., 1989. 640 p.
- [14] Zubkov N., Poptsov V., Vasiliev S. Surface Hardening by Turning without Chip Formation. *Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering*, 2017, vol. 36, no. 1, pp. 209–212.
- [15] Mal'kova L.D., Buloshnikov V.S., Vasil'ev S. G., Mal'kov O.V., Syroegin I.A., Cherkasov A.S., Pavlyuchenkov I.A., Vinogradov D.V., Shulyak Ya.I. *Fizicheskie osnovy mekhanicheskoy i fiziko-tekhnicheskoy obrabotki materialov* [Physical bases of mechanical and physico-technical processing of materials]. Moscow, Bauman Press, 2016. 88 p.
- [16] Dreval' A.E., Vasil'ev S.G., Vinogradov D.V., Mal'kov O.V. Measuring Diagnostic Stand for Experimental Researches in Technology Machining. *Science & Education of the Bauman MSTU*, 2014, no. 12, pp. 22–58 (in Russ.). Available at: <http://engineering-science.ru/file/755417.htmls=1> (accessed 09 April 2018), doi: 10.7463/1214.0749286

Статья поступила в редакцию 28.02.2019

Информация об авторах

ШУЛЯК Ян Игоревич — кандидат технических наук, ассистент кафедры «Инструментальная техника и технологии». МГТУ им. Н.Э. Баумана (105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1, e-mail: yan.shulyak@yandex.ru).

ВАСИЛЬЕВ Сергей Геннадьевич — кандидат технических наук, доцент кафедры «Инструментальная техника и технологии». МГТУ им. Н.Э. Баумана (105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1, e-mail: sergv@bmstu.ru).

Information about the authors

SHULYAK Yan Igorevich — Candidate of Science (Eng.), Assistant Lecturer, Department of Tools and Tooling Technology. Bauman Moscow State Technical University (105005, Moscow, Russian Federation, 2nd Baumanskaya St., Bldg. 5, Block 1, e-mail: yan.shulyak@yandex.ru).

VASILIEV Sergey Gennadievich — Candidate of Science (Eng.), Associate Professor, Department of Tools and Tooling Technology. Bauman Moscow State Technical University (105005, Moscow, Russian Federation, 2nd Baumanskaya St., Bldg. 5, Block 1, e-mail: sergv@bmstu.ru).

Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:

Васильев С.Г., Шуляк Я.И. Температура зоны механической обработки при формировании упрочненного слоя методом деформирующего резания. *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*, 2019, № 4, с. 3–10, doi: 10.18698/0536-1044-2019-4-3-10

Please cite this article in English as:

Vasiliev S.G., Shulyak Y.I. The Temperature in the Cutting Zone when Applying Deformational Cutting to Form a Hardened Layer. *Proceedings of Higher Educational Institutions. Machine Building*, 2019, no. 4, pp. 3–10, doi: 10.18698/0536-1044-2019-4-3-10