

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ АНАЛИТИЧЕСКОЙ МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ПРОЦЕССА НАГРЕВА МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ЗАГОТОВОК

Постольник Ю.С., Павлюченко И.А., Кондрашева О.А.

(ДГТУ, г. Днепродзержинск, Украина)

The article is devoted to the technique of account process of radiant and convective heating of preparations. This problem is developed on the basis of the analytical decision of a non-linear task of form bodies' heat-conductivity. The block diagram and the program to increase the efficiency of engineering calculations are offered.

Классическая теория теплопроводности, заложенная Ж. Фурье еще в начале XIX века, более столетия развивалась исключительно на позициях линейного математического моделирования (ММ), что вполне удовлетворяло практику того периода. Между тем примерно со середины XX-го ст. линейная теория начала давать сбои, и это прежде всего проявилось в исследованиях тепловых проблем, связанных с новыми направлениями техники. Вслед за ними в повышении точности тепловых расчетов стали нуждаться и все больше нуждаются интенсифицируемые отрасли промышленности, такие как теплоэнергетика, металлургия, машиностроение и др. От науки потребовались решения новых задач теплообмена, учитывающих существенные нестационарности, нелинейности, неоднородности, разрывы. К таким задачам хорошо разработанный до этого математический аппарат оказался уже малопригодным.

Таким образом, дальнейшее развитие соответствующих отраслей производства, в том числе и машиностроения, возможно лишь на основе широкого внедрения нелинейного ММ [1, 2]. Однако нелинейные краевые задачи теплопроводности (КЗТ) точных решений в замкнутой форме, за редким исключением, не имеют. Для их решения применяются различные приближенные методы, численные и аналоговые. Они чаще всего используются в научных исследованиях или на стадии проектирования объекта и в повседневной инженерной практике не всегда приемлемы.

Возникла необходимость в разработке более простых методик расчета, основанных на приближенных аналитических решениях. Появляется много отдельных работ этого направления, большинство из которых чаще всего носит теоретический, научный характер. Предложено немало различных приближенных аналитических методов решения нелинейных КЗТ [3-7], но и они преимущественно разрабатывались под тот или иной вид нелинейности.

Согласно принятой классификации [4, 5] различают нелинейности, учитывающие в КЗТ функциональную (температурную) зависимость: 1-го рода – теплофизических характеристик материала, содержащихся в дифференциальном уравнении теплопроводности (ДУТ); 2-го рода – условий теплообмена (ТО) (граничных условий); 3-го рода – внутренних источников тепла, входящих в ДУТ (к этому виду нелинейности часто сводятся и задачи с фазовыми превращениями типа плавление-затвердевание).

Группа научных работников ДДТУ под руководством Ю.С. Постольника более 40 лет работает в области прикладной термомеханики (теорий теплопроводности и термоупругопластичности), делая усиленный акцент именно на нелинейном ММ. Предложены эффективные приближенные аналитические методы. Полученные результаты нашли отражение в работах [1, 9...12]. Авторам удалось на основе единого аналитического «инструмента» – метода эквивалентных источников (МЭИ) Постольника рассмотрены все типы нелинейных КЗТ и получены приближенные решения, приемле-

мые для технического применения. Высокая эффективность МЭИ в решении тепловых задач машиностроения, а именно обработки металлов резанием подтверждается в работе [13].

Однако учет нелинейностей в ряде случаев несколько усложняет решения, что становится некоторым препятствием на пути их широкого технического применения. Поэтому разработка практических методик, обеспеченных алгоритмами и программами для ЭВМ, расширит инженерные возможности соответствующих исследований и расчетов в машиностроении, теплотехнологичным процессам которого присущи все виды нелинейностей.

Рассмотрим КЗТ тел базовой формы (ТБФ) с нелинейностью 2-го рода, соответствующей сложному ТО.

Тепловая обработка машиностроительных заготовок из различных материалов очень важна для промышленности. Она влияет на энергоемкость, себестоимость и качество продукции. В машиностроении широко используется смешанный процесс нагрева заготовок. Данный процесс характеризуется переносом тепла от нагревателя к объекту за счет излучения и конвекции. При исследовании такого сложного радиационно-конвективного нагрева ТБФ чаще всего принимается следующая ММ:

$$\frac{1}{\rho^m} \frac{\partial}{\partial \rho} \left(\rho^m \frac{\partial \theta}{\partial \rho} \right) = \frac{\partial \theta}{\partial \tau}; \quad \theta(\rho, 0) = \theta_0;$$

$$\left. \frac{\partial \theta}{\partial \rho} \right|_{\rho=1} = Sk \left\{ [1 - \theta_{II}^4(\tau)] + \zeta [1 - \theta_{II}(\tau)] \right\}; \quad \left. \frac{\partial \theta}{\partial \rho} \right|_{\rho=0} = 0,$$

где введены безразмерные величины

$$\theta(\rho, \tau) = \frac{T(\rho, \tau)}{T_c}; \quad \rho = \frac{r}{R}; \quad \tau = Sk^2 Fo;$$

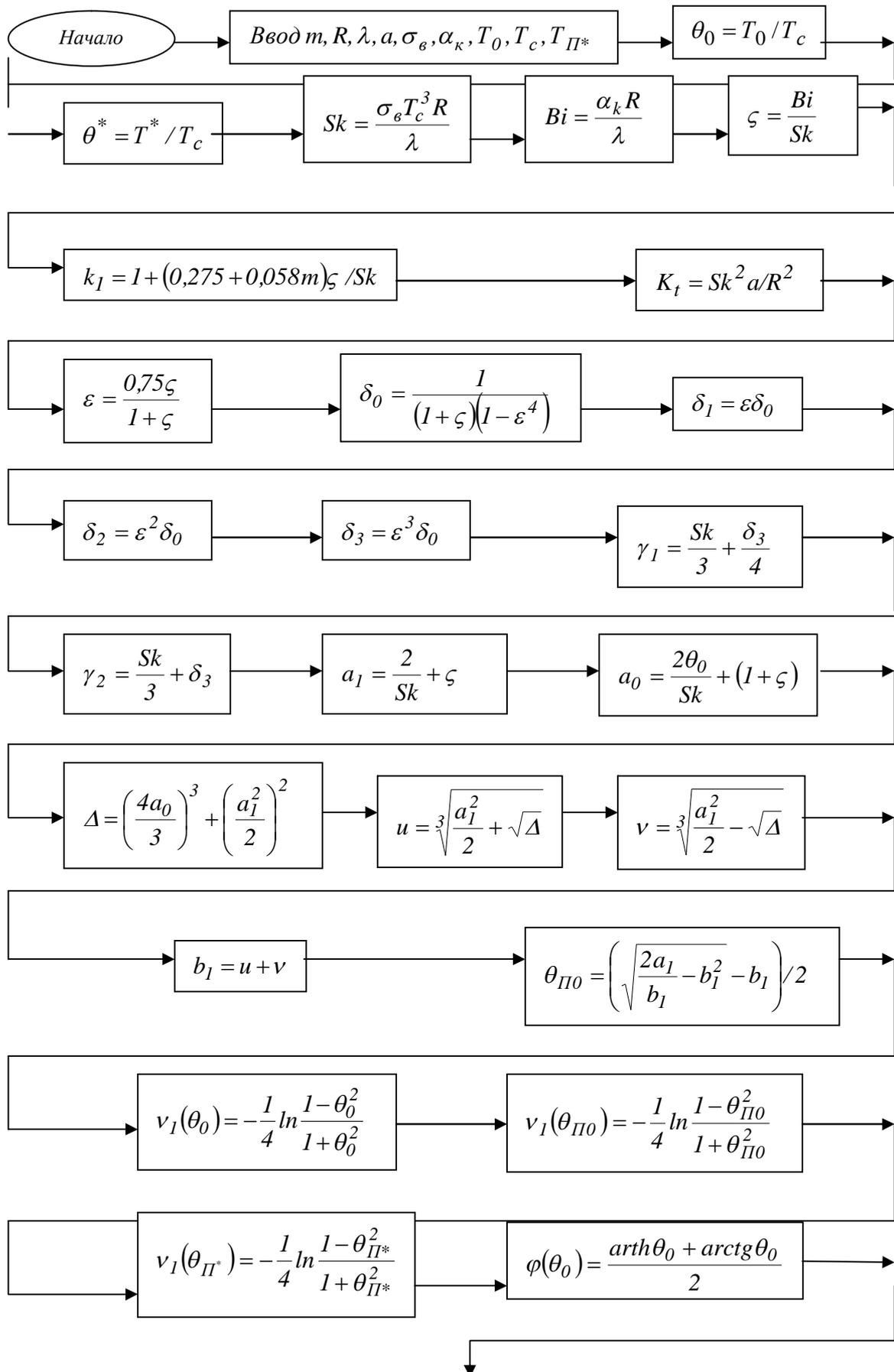
$$Fo = \frac{at}{R^2}; \quad Sk = \frac{\sigma_6 T_c^3 R}{\lambda}; \quad Bi = \frac{\alpha_k R}{\lambda}; \quad \zeta = \frac{Bi}{Sk};$$

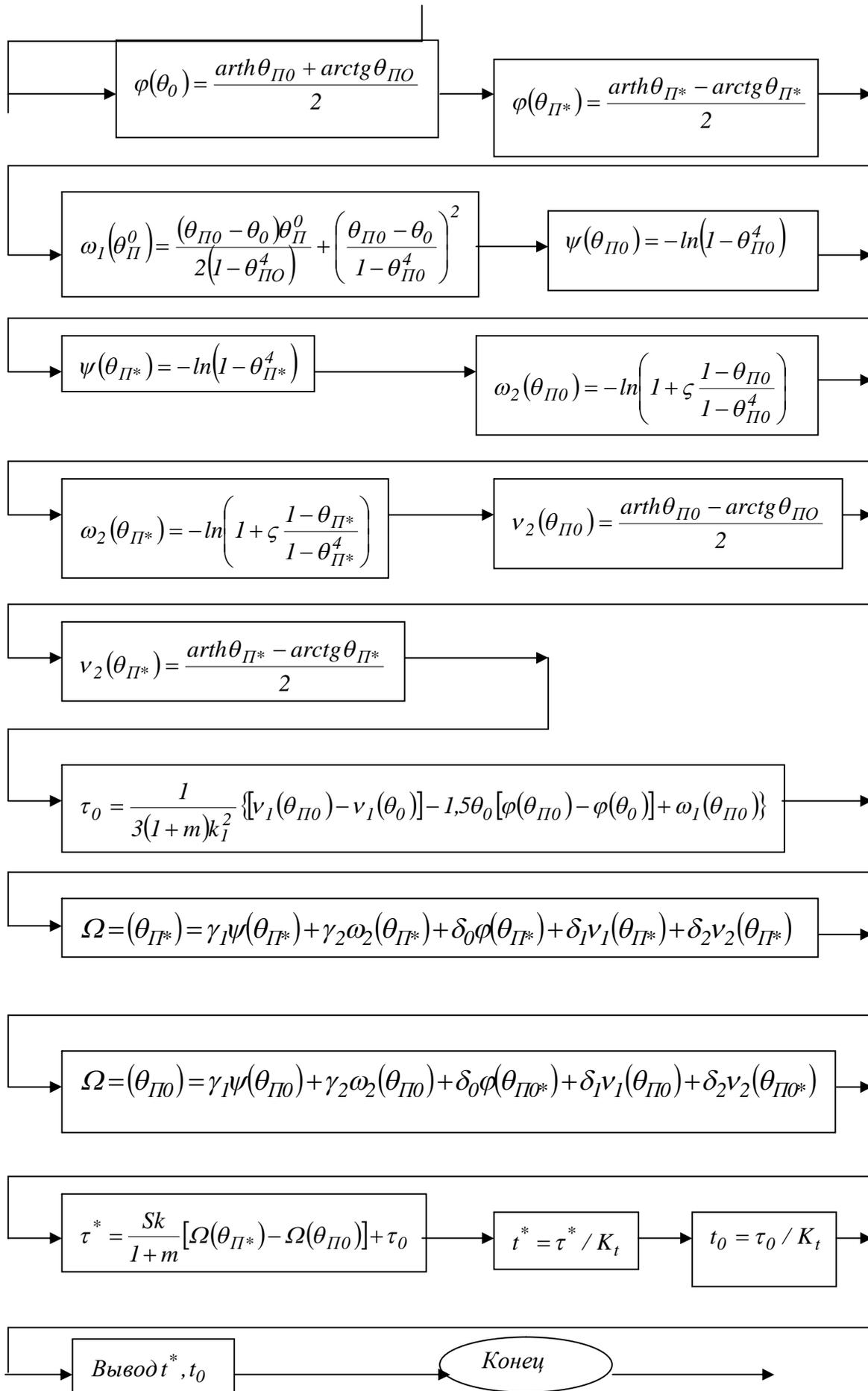
$m=0$ (пластина), $m=1$ (цилиндр), $m=2$ (шар); остальные обозначения общепринятые.

На базе полученного при помощи МЭИ приближенного решения [1, 9...12] разработана аналитическая методика расчета процесса нагрева машиностроительных заготовок в условиях сложного ТО, снабженная необходимыми таблицами и графиками. Многочисленные расчеты показали ее надежность. Но некоторая громоздкость и необходимость интерполирования по нескольким параметрам при использовании таблиц потребовали повышения технологичности вычислительных операций. Это было достигнуто путем составления программы для компьютерных расчетов по разработанным алгоритмам. Как пример, здесь представлена блок-схема алгоритма расчета времени t^* нагрева ТБФ до наперед заданной температуры поверхности T_{II^*} . Аналогичное программное обеспечение разработано и для расчета температуры T_{II^*} , достигнутой за определенное время t^* . Заметим, что для чисто радиационного ТО подобные блок-схемы даны в работе [14].

1. Блок-схема

расчета времени t^* , необходимого для радиационно-конвективного нагрева тела до заданной температуры T_{II^*} поверхности





В качестве примера, иллюстрирующего надежность приведенной методики [9], рассмотрим нагрев пластины при исходных данных:

$$m = 0; \quad Sk = 0,5; \quad Bi = 1,0; \quad \theta_0 = 0,2 \quad (1)$$

В таблице 1 результаты расчета температуры поверхности $\theta_{II}(\tau)$ по предложенной методике сопоставлены с данными численного и итерационного методов [15]

Таблица 1. Значения $\theta_{II}(\tau)$

F_0	ЭВМ [15] $\theta_{II}(\tau)$	Первая итерация [15]		Вторая итерация [15]		МЭИ [9]	
		$\theta_{II}^1(F_0)$	$\delta\theta_{II}^1, \%$	$\theta_{II}^2(F_0)$	$\delta\theta_{II}^2, \%$	$\theta_{II}(F_0)$	$\delta\theta_{II}, \%$
0	0,200	0,200	0	0,200	0	0,200	0
0,1	0,563	0,512	-4,1	0,552	-0,1	0,556	0,3
0,2	0,644	0,586	-5,8	0,636	0,8	0,649	0,5
0,3	0,699	0,633	-6,6	0,687	-1,2	0,701	0,2
0,4	0,742	0,671	-7,1	0,728	-1,4	0,739	-0,3
0,5	0,778	0,704	-7,4	0,763	-1,5	0,777	-0,1
0,6	0,808	0,733	-7,5	0,792	-1,6	0,812	0,4
0,8	0,8566	0,762	-7,4	0,842	-1,4	0,862	0,6
1,0	0,893	0,822	-7,1	0,880	-1,3	0,898	0,5
1,2	0,919	0,855	-6,4	0,909	1,0	0,925	0,6
1,6	0,955	0,904	-5,1	0,948	-0,7	0,959	0,4
2,0	0,975	0,936	-3,9	0,971	-0,4	0,977	0,2

Расхождение результатов МЭИ с численным методом составляет менее 1%.

Выводы. Разработанная инженерная методика расчета сложного (радиационно-конвективного) нагрева машиностроительных заготовок обладает достаточно высокой точностью и практической простотой при использовании предложенного алгоритма и блок-схемы для машинных вычислений.

Список литературы: 1. Постольник Ю.С. Вопросы нелинейной теории нагрева и охлаждения металла // Автореферат дис. д-ра техн. наук, – Днепропетровск: ДМеТИ, 1980–48с. 2. Постольник Ю.С., Огурцов А.П. Нелинейное математическое моделирование – основа совершенствования теплотехнологии машиностроения // Машиностроение и техносфера на рубеже XXI века. Сб. тр. международн. научн.-техн. конф. в г. Севастополе. – Донецк: ДонГТУ, 1999 – С. 109-150. 3. Лыков А.В. Методы решения нелинейных уравнений нестационарной теплопроводности // «Изв. АН СССР Энергет. и трансп.», 1970, № 5 – С. 109-150. 4. Коздоба Л.А. Методы решения нелинейных задач теплопроводности – М.: Наука, 1975–226с. 5. Беляев Н.М., Рядно А.А. Методы теории теплопроводности: в 2-х частях. – М.: Высш. шк., 1982–630с. 6. Кудряшов Л.И., Меньших Н.Л. Приближенные решения нелинейных задач теплопроводности – М.: Машиностроение, 1979–232с. 7. Зарубин В.С. Инженерные методы решения задач теплопроводности. М.: Энергоиздат, 1983–328с. 8. Видин Ю.В. Инженерные методы решения процессов теплопереноса. Красноярск: КПИ, 1974.–144с. 9. Постольник Ю.С. Приближенные методы исследований в термомеханике – К. –Донецк.: Вища шк. Головн. Изд-во, 1984–158с. 10. Постольник Ю.С., Огурцов А.П. Нелінійна прикладна термомеханіка. К.: НМЦ ВО МОНУ, 2000–280с. ISBN 5-7336-2753-9. 11. Постольник Ю.С., Огур-

цов А.П. Металургійна термомеханіка – Дніпропетровськ: Системні технології, 2002–633с. ISBN 966-7316-69-6. **12.** Тимошпольский В.И., Постольник Ю.С., Андрианов Д.Н. Теоретические основы теплофизики и термомеханики в металлургии. Минск: Беларуская навука; 2005–560с. ISBN 985-08-0622-2. **13.** Бутенко В.И. Нелинейность процессов при обработке металлов резанием. Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2001–224с. **14.** Постольник Ю.С., Огурцов А.П. Усовершенствование расчета радиационного нагрева массивных тел компьютеризацией уточненной аналитической методики // «Прогрессивные технологии и системы машиностроения» – Международный сб. науч. Тр. – Донецк: ДонГТУ, 2001г., в. 17 – С.179-184. **15.** Видин Ю.В. Неустановившееся температурное поле в плите при совместном действии теплового измерения и конвекции // «ИФК», 1967, т. XII, №5 – С.669-671.

Сдано в редакцию 15.04.05
Рекомендовано д.т.н., проф. Керекеш Т.

УПРОЧНЕНИЕ СТАЛЬНЫХ ДЕТАЛЕЙ НА ПОСЛЕДНЕЙ СТАДИИ ИХ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Сошко В.А., Макаров С.Н. (ХНТУ, г Херсон, Украина)

In the paper there are considered aspects of the influence of polymer-included oil-cooled technological environments on the operating inheritance of the steels after various kinds of mechanical processing. Also there was devoted great care to the investigation of such indicators as thin crystal structure and phase content of tooled surfaces which have much influence on the variance of working efficiency of the parts.

Полимерные смазочно-охлаждающие технологические средства (СОТС) зарекомендовали себя как эффективные смазочно-охлаждающие жидкости и вместе с тем они ограниченно применяются на практике [1]. Одной из причин этого - недостаточная изученность механизма их действия и технологическая наследственность деталей, изготовленных с применением полимерсодержащих СОТС.

Известно, что резание поликристалла сопровождается изменением формы зерен, изменением их ориентировки и образованием текстуры, появлением остаточных деформаций, развитием внутрикристаллических и межкристаллических нарушений. Все эти процессы и явления изменяют физические и механические свойства обработанной поверхности, которые при прочих равных условиях определяют эксплуатационные свойства изделий.

Поскольку СОТС на полимерной основе обладают высокой эффективностью, а, значит обладают и высокой физико-химической активностью, то такие среды должны изменять и физико-химическое состояние поверхностных слоев обработанного материала, т.е. в конечном счете влиять на работоспособность металлических изделий.

В связи с изложенным представляет научный интерес и имеет большое практическое значение изучение механизма формирования комплекса поверхностных свойств металла после механической обработки в присутствии полимерсодержащих СОТС.

Известно, что введение в СОТС полимера определенного химического состава, не изменяет в целом химическую активность среды. В то же время в результате реакции деполимеризация полимерной составляющей в зоне резания происходит превращение полимерной присадки в чрезвычайно химически активную среду, которая действует только в зоне обработки, влияя на свойства деформируемого материала [2,3].