

А. П. Зурсов, канд. техн. наук, А. В. Поляков, И. В. Трофименко

### ПРИМЕНЕНИЕ РЕЖУЩЕ-ДЕФОРМИРУЮЩЕГО ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОРЕБРЕННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ С ЦЕЛЬЮ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ТЕПЛООБМЕНА

В разнообразных теплообменных устройствах и системах охлаждения теплонапряженных элементов теплотехнических объектов для повышения ресурса работы жаровых труб при обеспечении максимально возможной температуры их газовых стенок наиболее целесообразным подходом является использование методов, обеспечивающих равномерное охлаждение стенок жаровых труб за счет интенсификации теплообмена с охлаждающей средой. Реализация этого на практике позволило бы существенно повысить параметры теплотехнических устройств, или при заданных параметрах за счет снижения теплонапряженности элементов применять менее дорогие по сравнению с жаропрочными сталями конструкционные материалы.

Одним из наиболее эффективных методов в указанном направлении является интенсификация теплообмена в охлаждающем канале камеры генераторов газовых струй (ГГС) за счет использования турбулизаторов в виде искусственной шероховатости наружной стенки жаровой трубы. Однако применение искусственной шероховатости изменяет гидравлическое сопротивление охлаждающего тракта и тем самым влияет на внутрикамерные параметры ГГС. Поэтому необходимо выполнить расчеты и анализ по определению влияния параметров искусственной шероховатости как на температурный режим стенок жаровой трубы, так и на внутрикамерные параметры ГГС в целом.

В работе [1] рассматриваются методы интенсификации теплопередачи в различных каналах теплообменных аппаратов. В качестве основного метода приведены результаты исследований интенсификации теплопередачи путем организации искусственной шероховатости при помощи различных турбулизаторов, выполненных либо в виде диафрагм, либо в виде поперечных наружных ребер при продольном наружном охлаждении.

Для условий ГГС наибольший интерес представляют способы увеличения теплоотдачи от стенки жаровой трубы в омывающий ее охладитель, т.е. способы интенсификации теплоотдачи в кольцевых каналах с внутренним теплоподводом и наружным охлаждением.



Турбулизаторы увеличивают коэффициент теплоотдачи от стенки жаровой трубы, что можно оценить критерием  $Nu$ .

Наибольшего эффекта в интенсификации теплоотдачи можно добиться, увеличивая  $\epsilon_q$  (коэффициент турбулентной температуропроводности) именно в пристеночных слоях, соизмеримых с толщинами ламинарного и переходного слоев. Дополнительная турбулизация ядра потока увеличит теплоотдачу, но приведет к большому росту гидравлических потерь. Эффективным методом интенсификации теплоотдачи может быть периодическое расположение в трубе выступов-турбулизаторов с высотой порядка толщины этого слоя. Они не должны быть расположены слишком часто.

При частом расположении турбулизаторов ( $t_s/h_s < 5 \dots 10$ , где  $t_s$  и  $h_s$  - соответственно шаг и высота шероховатости) турбулентные пульсации, возникающие за турбулизатором, не успевают затухнуть на пути к следующему турбулизатору. В этом случае они будут перемещаться в ядро, увеличивая там интенсивность турбулентных пульсаций. Это не рациональный путь, так как он сопряжен с достаточно большими гидравлическими потерями на дополнительную турбулизацию ядра, которая мало увеличивает теплоотдачу.

При достаточно большом расстоянии между турбулизаторами ( $t_s/h_s > 5 \dots 10$ ) турбулентные пульсации переносятся основным потоком близко к стенке. Они проходят довольно большой путь, пока передадут свою кинетическую энергию настолько мелким пульсациям, что она диссипирует. На этом пути  $\epsilon_q$  будет увеличен практически только около стенки. Следовательно, интенсификация теплоотдачи будет достигнута ценой минимальных гидравлических потерь.

При слишком большом ( $t_s/h_s > 100 \dots 500$ ) расстоянии между турбулизаторами дополнительная турбулентность, возникающая за турбулизатором, успеет достаточно заметно затухнуть на некотором расстоянии от него, и остальной участок канала до следующего турбулизатора будет мало отличаться по структуре от гладкого канала.

Уменьшение  $t_s/h_s$  ведет к слиянию вихрей в один и к ухудшению теплоотдачи из-за большого влияния угловых зон с меньшей локальной теплоотдачей. Увеличение  $t_s/h_s$  ведет к удельному росту доли поверхности между вихрями, где дополнительная турбулизация успевает затухнуть.

Как показывает анализ экспертов, при заданной форме и высоте турбулизаторов  $h_s$  максимальные значения  $Nu/Nu_{г\lambda}$  и  $\xi/\xi_{г\lambda}$  ( $\xi$  и  $\xi_{г\lambda}$  - коэффициенты гидравлического сопротивления тракта с шероховатостью и гладкого тракта соответственно) достигаются при



$t_s/h_s \sim 10$ . Причем максимум  $\xi/\xi_{га}$  особенно сильно зависит от формы турбулизаторов и связанных с ней трехмерных и нестационарных вихревых структур.

Этот путь интенсификации теплопотока не требует существенного увеличения диаметра труб и поэтому применим в любых кольцевых каналах. Изготовление турбулизаторов на наружной поверхности труб не связано с большими технологическими трудностями.

Результаты большинства работ сравнительно близки. Интенсификация теплоотдачи увеличивается с ростом числа Рейнольдса, максимальная величина ее составляет 2...2.5 при росте гидравлического сопротивления в 2.7...5 раз.

Организация интенсификации теплообмена путем изготовления оребренных поверхностей (нанесение искусственной шероховатости) в теплообменных аппаратах, системах охлаждения теплонапряженных элементов теплотехнических объектов сопряжен с некоторыми технологическими особенностями. Способ изготовления оребренных поверхностей к теплообменным аппаратам заключается в том, что режущим инструментом производят надрез материала с его последующим пластическим деформированием. С целью повышения производительности и коэффициента использования материала, снижения материалоемкости и трудоемкости процесса по сравнению с другими способами обработки надрез материала производят вдоль направления перемещения инструмента, а его пластическое деформирование осуществляют по одну сторону от линии надреза в плоскости, перпендикулярной направлению перемещения инструмента. В результате на обрабатываемой поверхности образуются теплообменные элементы в виде канавок и ребер, выступающих с одной стороны канавок над обрабатываемой поверхностью. Угол отгиба нецелесообразно делать более  $90^\circ$ . Минимально возможный угол отгиба ребра больше угла наклона поверхности резания примерно на  $10...15^\circ$ . Это достигается путем применения специального режуще-деформирующего инструмента, представленного на рис. 1.

Предлагаемый режуще-деформирующий инструмент имеет переднюю и заднюю рабочие поверхности, образующие при пересечении главную режущую кромку, наклонную в двух плоскостях (в плане и в плоскости резания) и выходящую за пределы контакта с изделием в одну сторону, и выглаживатель в виде боковой рабочей поверхности, примыкающей к стороне главной режущей кромки, которая противоположна стороне, выходящей за пределы контакта с изделием,



сопряженной с передней поверхностью плавной криволинейной поверхностью и образует при пересечении с задней поверхностью вспомогательную режущую кромку, которая сопряжена с главной режущей кромкой криволинейным участком режущей кромки, образованным при пересечении задней поверхности с криволинейной поверхностью, сопрягающей боковую рабочую поверхность с передней поверхностью.

Рабочая часть режуще-деформирующего инструмента содержит основную плоскость 1, боковую нерабочую поверхность 2, переднюю 3 и заднюю 4 поверхности, расположенные под главным передним углом  $\gamma$  и главным задним углом  $\alpha$  соответственно, боковую рабочую поверхность 5, сопряженную с поверхностью 3 плавной криволинейной поверхностью 6. Передний  $\gamma'$  и задний  $\alpha'$  - углы в плоскости 2 показаны на *рис. 1*. Главная 7, вспомогательная 8 и сопрягающая их криволинейная 9 режущие кройки образованы пересечением обозначенных на *рис. 1* поверхностей инструмента. Главная режущая кромка 7 наклонена в плане под углом  $\varphi = \varphi' + \Delta\varphi$ , выбираемый в зависимости от заданной геометрии получаемых ребер на обрабатываемой поверхности (где  $\varphi'$  - заданный угол при вершине ребра,  $\Delta\varphi$  - уменьшение угла при вершине ребра в результате усадки материала в процессе его пластического деформирования) имеет в плоскости резания отрицательный угол наклона минус  $\lambda$  к основной поверхности 1. Боковая рабочая поверхность 5 наклонена к вертикали под углом  $\eta = \arctg V_s/V$ , где  $V_s$  - скорость движения подачи,  $V$  - скорость главного движения резания.

Предлагаемый инструмент работает следующим образом. При врезании лезвия инструмента в обрабатываемый материал в его поверхностном слое главная режущая кромка 7 прорезает наклонную к обрабатываемой поверхности поверхность резания  $a\beta$ . Надрез материала производят вдоль направления перемещения инструмента. Передняя поверхность 3 отгибает материал в плоскости, перпендикулярной направлению движения инструмента. Благодаря отрицательному углу наклона главной режущей кромки минус  $\lambda$  отгибаемый материал скользит по передней поверхности 3 в сторону боковой рабочей поверхности 5. Плавная сопрягающая поверхность 6 отжимает частично отделенный от заготовки материал в сторону и совместно с боковой рабочей поверхностью 5, выполняющей роль выглаживателя, формирует боковую поверхность  $\alpha'\beta$  образующегося клинообразного ребра.

Угол наклона главной режущей кромки в плане выбирают в зависимости от заданной геометрии получаемого ребра с учетом



деформации подрезанного материала при его отгибе, влияния свойств материала и вида технологического процесса: точение, строгание и др. Угол наклона главной режущей кромки в плоскости резания, выполненный отрицательным с целью создания достаточного бокового усилия для деформации подрезанного материала, выбирается в пределах ( $30 \dots 60^\circ$ ). При меньших углах уменьшается боковое усилие. При больших углах чрезмерно возрастает длина главной режущей кромки и высота рабочей части инструмента. Боковая рабочая поверхность инструмента, служащая выглаживателем боковой поверхности образующегося ребра, выполнена наклонной в рабочей плоскости под углом, равным углу между направлениями результирующего и главного рабочих движений, что обеспечивает уменьшение удельных нагрузок на рабочую поверхность выглаживателя и уменьшение ее износа.

Предъявляются высокие требования к чистоте обработки и твердости поверхностей 3, 5 и 6, так как они осуществляют пластическое деформирование материала.

Предлагаемый инструмент может применяться при точении, строгании, долблении и протягивании. Он позволяет вести безотходную обработку теплообменных поверхностей при образовании оребрения, так как процесс обработки происходит без снятия стружки. Таким образом коэффициент использования материала при этом равен единице ( $K_{ИМ}=1$ ). Инструмент обеспечивает высокую производительность процесса изготовления ребер, так как подрезка материала и пластическое деформирование подрезанного слоя осуществляется одним движением инструмента. Это является более прогрессивным по сравнению с уже применяемым инструментом для образования теплообменных элементов в виде "лепестков" на теплообменных поверхностях, имеющих одну режущую кромку, так как при использовании такого инструмента технологический процесс существенно удлиняется за счет необходимости его обратного холостого хода после образования каждого "лепестка".

Изготовление оребренных поверхностей теплообменных аппаратов в зависимости от заданной формы искусственной шероховатости благодаря особенностям инструмента, можно производить на токарных, строгальных, долбежных и протяжных станках.

В настоящее время рассмотренный режущо-деформирующий инструмент опробуется для широкого внедрения в производство.



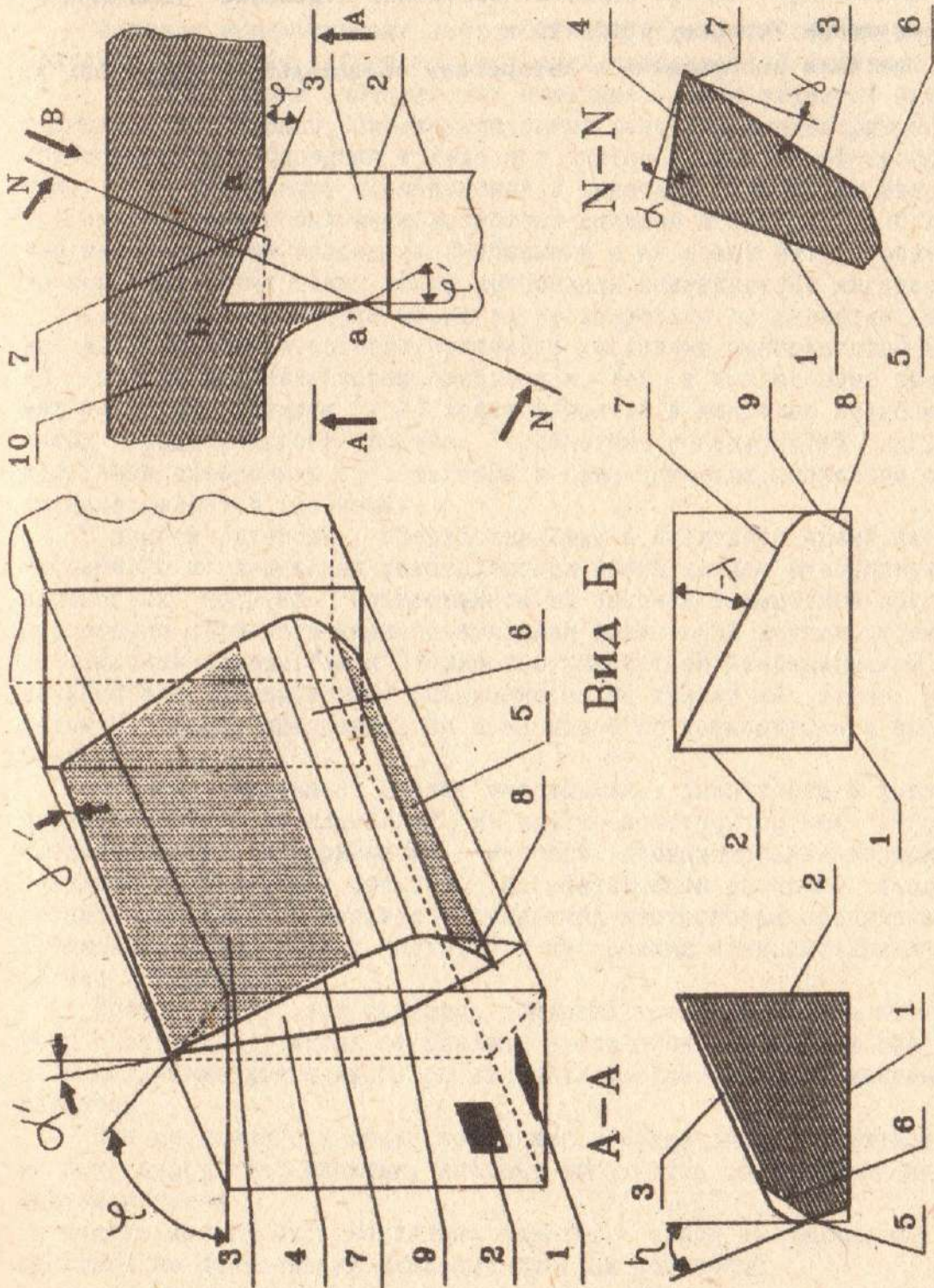


Рис. 1. Режущее-деформирующий инструмент



## СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Э.К. Калинин, Г.А. Дрейцер, С.А. Яхро, Интенсификация теплообмена в каналах, М.:Машиностроение, 1990. 208 с.
2. Анализ математической модели генератора газовых струй воздушно-реактивного типа. Отчет о научно-исследовательской работе №б - 1/93. Харьков: Восточное отделение Инженерной академии Украины, 1993. 25 с.
3. Описание изобретения к авторскому свидетельству №1448561 А1.