



*The investigations of influence of the steel R6M5 structure, formed under different conditions of crystallization, on kinetics of wearing of cutting instrument are carried out.*

Ф. И. РУДНИЦКИЙ, Белорусский национальный технический университет

УДК 669.14.018.252.3

## ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ИНСТРУМЕНТА ИЗ ЛИТОЙ БЫСТРОРЕЖУЩЕЙ СТАЛИ

Эксплуатационные характеристики изделия в большой мере определяются физико-механическими свойствами металла, формирующимися на различных этапах его получения. Так, горячая пластическая деформация в технологическом цикле изготовления быстрорежущих сталей предназначена для устранения ледебуритной эвтектики и повышения тем самым их вязкости и пластичности. Однако еще Э.Гудремон утверждал, что структура литой быстрорежущей стали, представленная характерным расположением карбидов по границам зерен, является наиболее устойчивой к истиранию [1]. В более поздних работах это предположение нашло экспериментальное подтверждение [2, 3]. Исходя из того, что отдельно взятые показатели механических свойств стали не определяют в полной мере режущей способности изготовленного из нее инструмента, в настоящем

исследовании изучено влияние особенностей структуры (как на стадии металлургического передела, так и при финишных операциях) на стойкость литого инструмента.

Стойкостные характеристики инструмента из экспериментальных сталей, полученных в различных условиях кристаллизации, определяли в условиях точения стали 45 сборными резцами. Для получения сравнительных данных использовали аналогичный инструмент из проката.

Характер изнашивания литых резцов в зависимости от скорости резания и продолжительности работы одинаков независимо от метода их получения. Установлено, что при малых скоростях резания (рис. 1, а) характер изнашивания механический, абразивный. С увеличением продолжительности и скорости резания появляется «ленточка» (площадка) износа по задней поверхности

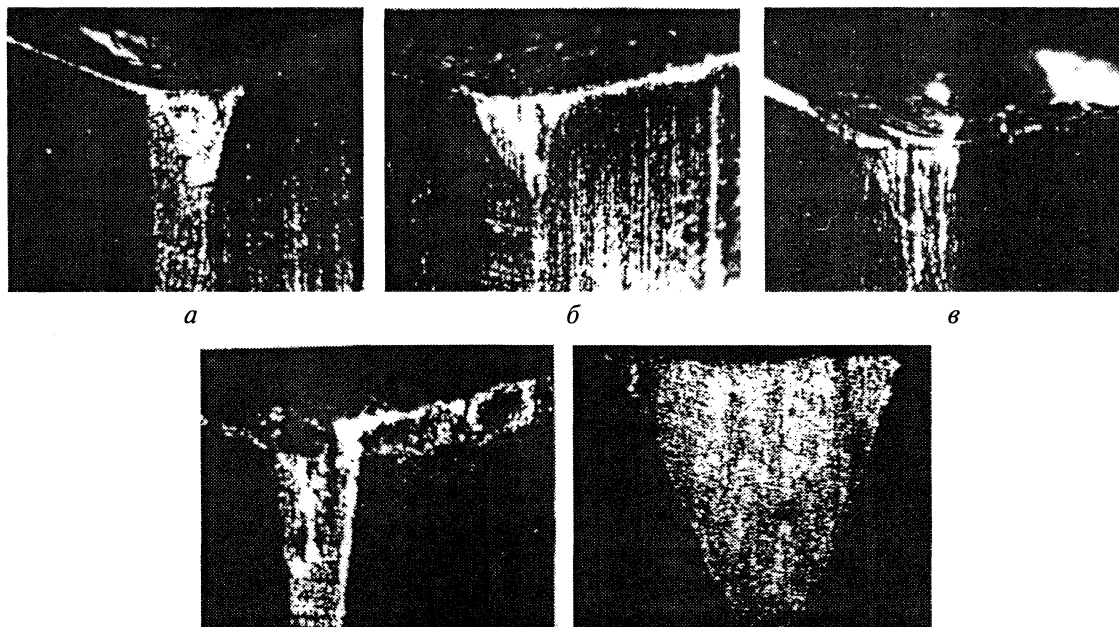


Рис. 1. Кинетика износа резцов из литой быстрорежущей стали при различных режимах резания: а – 25 м/мин; б – 40; в – 60; г – 80; д – 100 м/мин. х40

(рис. 1, б). При дальнейшем повышении скорости резания у поверхности износа инструмента наблюдаются вырывы крупных карбидных частиц, которые затем играют роль абразива и оставляют риски на поверхности инструмента, свойственные для абразивного изнашивания.

Начиная со скорости резания  $V=60$  м/мин, появляется лунка износа по передней поверхности (рис. 1, в), что является следствием увеличения на ней контактных давлений сходящей стружкой. Начинается процесс адгезионного изнашивания, способствующий образованию нароста. Однако нарост при этом нестабилен.

При увеличении скорости резания до  $V=80$  м/мин на процесс резания значительное влияние оказывает температурный фактор. Изменяется характер изнашивания: адгезионное становится преобладающим, интенсифицируется процесс наростообразования (рис. 1, г). В результате больших контактных давлений и высокой температуры резания в прирезцовой поверхности появляется «заторможенный» слой, приводящий к образованию нароста. Последний в значительной мере изменяет условия резания за счет того, что нарост предохраняет режущую кромку от изнашивания в процессе резания и, как следствие, снижает интенсивность износа инструмента.

Необходимо отметить, что у инструмента из деформированной стали наростообразование отмечено в интервале скоростей резания 25–30 м/мин. Однако в данном случае нарост нестабилен и

решающего влияния на условия резания и стойкость инструмента не оказал. Можно полагать, что при выбранных режимах резания и геометрии у резцов из деформированной быстрорежущей стали стабильный нарост образуется при скоростях резания менее 25–30 м/мин. Таким образом, можно отметить, что преобладающими видами износа у резцов из литой быстрорежущей стали являются абразивно-механический и адгезионный. Характер износа резцов из литой стали, полученной различными методами литья, отличается незначительно. Для исследования влияния структуры инструмента, заготовки которого получены в различных условиях кристаллизации, были построены зависимости максимального линейного износа по главной задней поверхности от продолжительности работы в интервале скоростей резания  $V=25-100$  м/мин (глубина резания  $t=0,5$  мм; подача  $s=0,07$  мм/об).

Из рис. 2 видно, что во всем исследуемом диапазоне скоростей резания интенсивность износа резцов из металла, полученного литьем в песчаные формы, гораздо выше, чем отлитого в кокиль. Характерным для обоих резцов является наличие наибольшей интенсивности изнашивания при  $V=100$  м/мин, а наименьшей в зоне скоростей  $V=80$  м/мин, соответствующей процессу наростообразования. У инструмента из деформированной стали наименьшая интенсивность изнашивания при  $V=25$  м/мин.

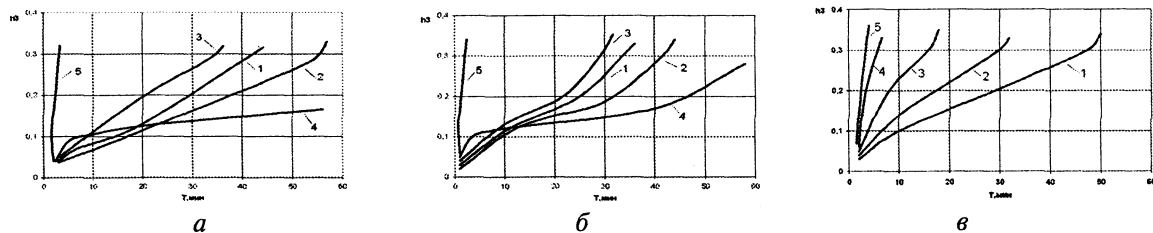


Рис. 2. Кривые износа по задней поверхности ( $h_z$ ) в зависимости от продолжительности работы  $\tau$  резцов из быстрорежущей стали, отлитой в кокиль (а), жидкостекольные песчаные формы (б) и проката (в) при различных скоростях резания: 1 – 25 м/мин; 2 – 40; 3 – 60; 4 – 80; 5 – 100 м/мин

На основании результатов обработки зависимостей для исследуемого диапазона скоростей резания при установленном критерии износа  $h_z=0,3$  мм получены функциональные зависимости стойкости  $T$  от скорости резания  $T=f(V)$ . Построенные кривые стойкости инструмента от скорости резания (рис. 3) показывают, что для инструмента из деформированной стали зависимости носят монотонно-убывающий характер. Для литого инструмента характерна немонотонная зависимость с экстремумами, соответствующими наибольшей и наименьшей стойкости при определенных скоростях резания.

Из рисунка следует, что при относительно низких скоростях резания ( $V=25-30$  м/мин) инструмент из деформированного металла превос-

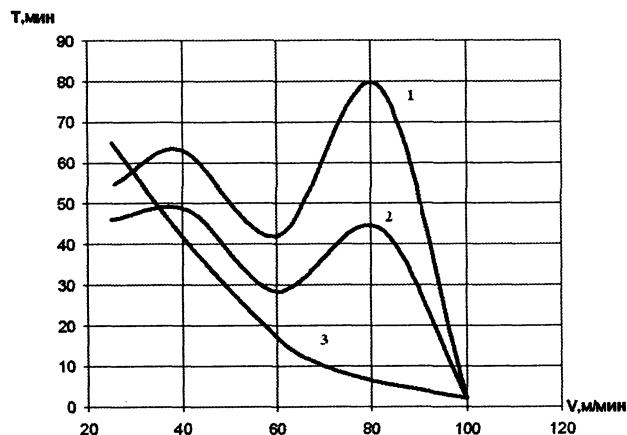


Рис. 3. Зависимость стойкости от скорости резания при точении резцами из стали, отлитой в кокиль (1), жидкостекольные песчаные формы (2) и проката (3)

ходит по стойкости литой. Это можно объяснить, по-видимому, тем, что при малых скоростях резания при повышенном уровне сил резания преобладающим видом износа является механический [4]. Наиболее значимая характеристика металла в таких условиях работы — ударная вязкость. Поэтому более высокую стойкость в указанном диапазоне скоростей имеет инструмент из деформированной стали. Соответственно наименьшая стойкость характерна для инструмента из стали, полученной в условиях медленного охлаждения (литье в песчаные формы).

При дальнейшем увеличении скорости резания до 60 м/мин стойкость литых резцов превышает стойкость резцов из деформированной стали в 1,5–2,0 раза в зависимости от использованного метода литья (рис. 3). С увеличением скорости резания изменяются температурно-силовые условия в зоне резания: повышается температура, снижаются силы резания [5]. На режущую способность в данных условиях влияют такие свойства стали, как износостойкость, твердость и теплостойкость. Поскольку эти свойства выше у литого инструмента, они и определяют его повышенную стойкость.

Важно отметить, что во всем диапазоне скоростей резания стойкость резцов, полученных литьем в кокиль, выше, чем у аналогичных, полученных литьем в формы из жидкостекольных песчаных смесей. Это, на наш взгляд, объясняется более благоприятной структурой, обеспечивающей как повышенную ударную вязкость, так и более высокую теплостойкость вследствие более благоприятных условий кристаллизации.

При достижении скорости резания  $V=80$  м/мин у резцов из литой стали наблюдается резкое повышение стойкости. Появление максимума при данной скорости характерно для литого инструмента. Как видно из рис. 3, высота «пика» определяется структурой литой стали, полученной различными методами литья, наибольшая высота пика соответствует инструменту, полученному литьем в кокиль.

Как установлено многочисленными экспериментальными исследованиями [4, 5], посвященными изучению процессов, происходящих в зоне резания, наиболее стабильный и максимального размера нарост при резании конструкционных сталей образуется при таком значении сил резания, при котором температура в зоне резания достигает 300 °С.

Проведенные стойкостные испытания и анализ кинетики износа инструмента из литой быстрорежущей стали показали, что наиболее стабильный нарост образуется при скорости резания примерно 80 м/мин (при данных режимах резания). То, что нарост формируется при высоких скоростях резания, не характерных для инструмента из стандартной деформированной стали,

позволяет утверждать, что использование инструмента из литой стали, по-видимому, приводит к возникновению несколько иных условий в зоне резания (в частности температурных) в силу особенности ее структуры и свойств.

Исследования по определению температуры в зоне резания показали, что при обработке стали 45 резцами, режущая часть которых была изготовлена из литой быстрорежущей стали, температура в зоне резания ниже, чем при обработке резцами из деформированной стали (рис. 4). Было выявлено также, что температура в зоне резания зависит от метода получения литых заготовок: при использовании резцов, режущая часть которых была изготовлена литьем в кокиль, температура выше, чем при использовании резцов, полученных литьем в формы из жидкостекольных песчаных смесей.

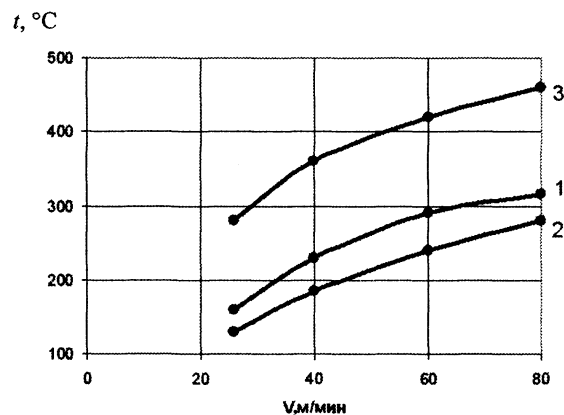


Рис. 4. Зависимость температуры в зоне резания от скорости резания резцами из стали, отлитой в кокиль (1), песчаные формы (2) и проката (3)

Таким образом, проведенные эксперименты показали, что в одинаковых условиях работы при использовании резцов из стали Р6М5, полученных литьем в кокиль, жидкостекольные песчаные формы и проката, фиксируется различная температура в зоне резания. Следовательно, обнаруживается большая зависимость этой важнейшей характеристики работы инструмента от структуры его материала и технологии изготовления.

Известно [5], что температура резания определяется тепловым балансом, характеризующим отвод тепла из зоны резания со стружкой, в заготовку и инструмент и при одинаковых прочих условиях обработки (режимах, материала, заготовки) зависит от теплопроводности материала инструмента.

В связи с этим было выдвинуто предположение о зависимости теплопроводности материала инструмента от его структуры. Для его подтверждения проведены расчеты значений удельной теплопроводности по экспериментально измеренным значениям электросопротивления. На основании полуэмпирической формулы [6,7]:

$$\lambda = L t / \rho,$$

где  $t$  — температура;  $\rho$  — удельное электросопротивление;  $L$  — число Лоренца, которое рассчитывается согласно [6]:

$$L \cdot 10^8 = 3,05 - 0,032 \cdot 10^{-2}t.$$

Зависимость, построенная по рассчитанным значениям удельной теплопроводности от температуры нагрева образца (рис. 5), показывает, что во всем диапазоне температур нагрева теплопроводность образцов, отлитых в жидкостекольные песчаные формы, выше полученных литьем в кокиль. С повышением температуры различие между значениями теплопроводности исследуемых сталей увеличивается.

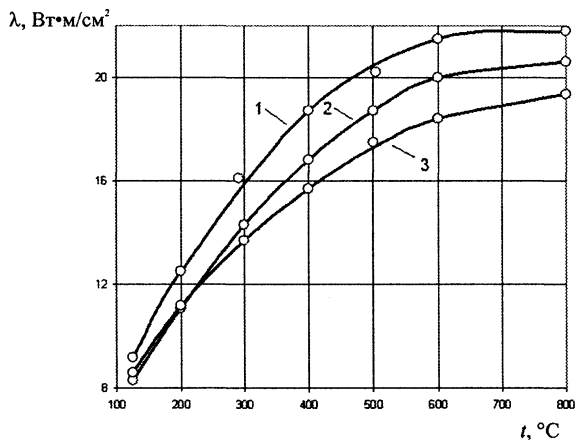


Рис. 5. Изменение теплопроводности образцов из быстрорежущей стали при различной температуре: 1 — литье в песчаные формы; 2 — в кокиль; 3 — прокат

Таким образом, полученные данные указывают на существование зависимости теплопроводности быстрорежущей стали от ее структуры, регламентированной методами литья и пластической деформации. Результаты стойкостных испытаний сборных токарных резцов дополнительно подтвердили этот факт.

С целью выявления более полной картины влияния структуры на режущую способность инструмента были проведены стойкостные испытания в начальном периоде резания. Данный способ основан на исследовании периода приработки инструмента, когда отсутствуют изменения условий резания, возникающие при установившемся периоде резания (наростообразование, трансформация структуры, напряжения) и искажающие в какой-то мере реальную картину поведения инструмента.

Полученные результаты в виде стойкостных кривых приведены на рис. 6. Резцы из стали, полученной литьем в кокиль, и имеющие мелкозернистую структуру по стойкости превосходят резцы, имеющие более крупнозернистую структуру, сформированную в результате кристаллизации при меньшей скорости охлаждения.

С целью исследования влияния условий кристаллизации на стойкость инструмента в условиях прерывистого резания были проведены производ-

ственные испытания трехсторонних пазовых фрез из литой быстрорежущей стали.

Из рис. 7 видно, что фрезы, изготовленные литьем в кокиль, имеют наибольшую стойкость во всем выбранном для испытаний диапазоне скоростей фрезерования по сравнению с деформированными и отлитыми в песчаных формах.

Более высокая стойкость при фрезеровании инструментом, отлитым в кокиль по сравнению с полученным в песчаных формах, объясняется более высокой ударной вязкостью в результате повышенных скоростей охлаждения при кристаллизации.

Вместе с тем, хотя по значениям ударной вязкости деформированная сталь превышает отлитую в кокиль, стойкость фрез из нее ниже. Следовательно, достигнутый при литье в кокиль уровень ударной вязкости литой стали значительно превышает требуемый для фрезерного инстру-

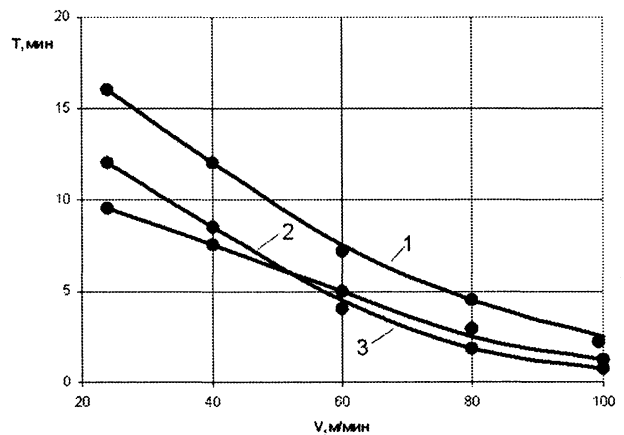


Рис. 6. Зависимость стойкости от скорости резания резцов из быстрорежущей стали, отлитой в кокиль (1), жидкостекольные песчаные формы (2) и проката (3)

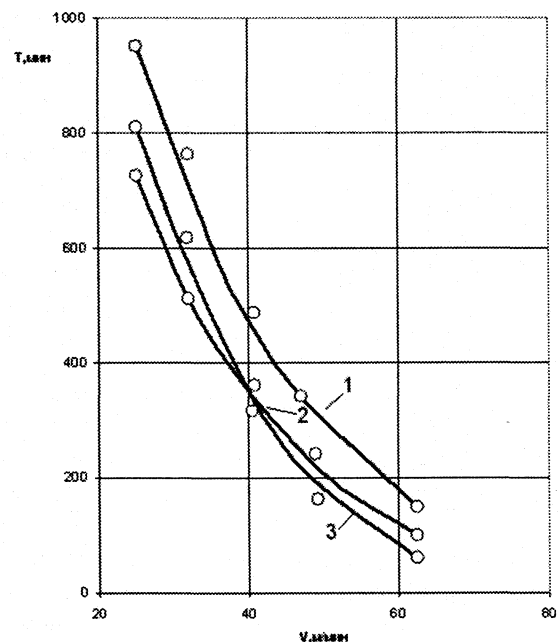


Рис. 7. Стойкость фрез из стали, отлитой в кокиль (1), жидкостекольные песчаные формы (2) и проката (3)

мента. Важную роль играет тот фактор, что при литье в кокиль обеспечивается благоприятное сочетание ударной вязкости с другими эксплуатационными свойствами — твердостью, износостойкостью, теплостойкостью, что, безусловно, положительно сказывается на эксплуатационной стойкости инструмента.

Таким образом, использование оптимальных условий кристаллизации при изготовлении литого инструмента с учетом условий его работы и назначения является эффективным резервом повышения его эксплуатационной стойкости. Проведенные исследования также показали, что, несмотря на одинаковый химический состав в сравнении с деформированной, литая быстрорежущая сталь — принципиально отличающийся инструментальный материал. При использовании инструмента из нее для достижения максимальной эффективности необходима корректировка режимов резания в сторону увеличения скоростей.

### Литература

1. Гудремон Э. Специальные стали. М.: Metallurgia, 1966. Т. 1, 2.
2. Чаус А.С., Рудницкий Ф.И., Мургаш М. Структурная наследственность и особенности разрушения быстрорежущих сталей // МиТОМ. 1997. № 2. С. 9–11.
3. Chau A.S., Rudnitsky F.I. The influence of elements on structure and properties of the tungsten-molibdenum high-speed steels // CO-MAT-TECH'98: Proc. of the Intern. Conf. Bratislava. STV. 1998. Vol. 1. P. 23–34.
4. Horn E. Eine bisher nicht erkante Karbidensetzung in Schnellbearbeitungsstählen.-DEW-Techn. Berichte. 1972. N. 12. S. 217–224.
5. Лоладзе Т.Н. Прочность и износостойкость режущего инструмента. М.: Metallurgia, 1982.
6. Стали и сплавы для высоких температур: Справ. изд. В 2-х кн. Кн.2 / С.Ю. Масленков, Е.А. Масленкова. М.: Metallurgia, 1991.
7. Metallovedenie i termicheskaya obrabotka stali: Справ. изд. 3-е изд. Перераб. и доп. В 3-х т. Т. 2. Основы термической обработки / Под ред. М.Л. Бернштейна, А.Г. Рахштадта. М.: Metallurgia, 1983.