

# ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И ПРОЦЕССЫ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ; ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ СПОСОБЫ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ

УДК 621.9

*Беляева Г.И., Беляев Г.Я., Кочергин А.И.*

## ВЛИЯНИЕ ХИМСОСТАВА И СТРУКТУРЫ НА ОБРАБАТЫВАЕМОСТЬ СТАЛЕЙ РЕЗАНИЕМ

*Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь*

Исследованию обрабатываемости материалов посвящено большое количество работ. В большинстве своем они посвящены выявлению показателей (в том числе и косвенных) и методам определения обрабатываемости материалов. Значительно меньше работ представляют исследования по определению влияния физико-механических свойств чугунов и сталей на их обрабатываемость. В еще меньшем количестве работ оценивается влияние химсостава и отдельных структурных составляющих металлов на их обрабатываемость резанием. Необходимо отметить, что в большинстве работ устанавливаются только качественные связи между отдельными характеристиками обрабатываемого материала и обрабатываемостью резанием.

В наиболее фундаментальном исследовании [1] изложены основные подходы к проблеме обрабатываемости, приведены многие зависимости, характеризующие влияние некоторых физико-механических свойств, химического состава и микроструктуры обрабатываемого материала на его обрабатываемость резанием. В частности, отмечается, что наибольшее влияние на обрабатываемость сталей оказывает процентное содержание углерода в средне- и малоуглеродистых сталях. Известно, что при содержании углерода до 0,08%, очень сложно получить высокое качество обрабатываемой поверхности. При повышении содержания углерода свыше 0,3% в структуре сталей появляется цементит, обладающий сильным абразивным воздействием на режущий инструмент, что приводит к заметному ухудшению обрабатываемости. Авторами отмечается, что наиболее оптимальным с точки зрения обрабатываемости следует считать содержание углерода в пределах (0,2-0,3)%.

Наличие в небольших количествах марганца (<1,5%) упрочняет феррит, снижая пластичность высокопластичных сталей, что улучшает их обрабатываемость. При содержании марганца свыше 10% сталь под воздействием сил резания приобретает склонность к наклепу, резко возрастают прочностные характеристики, пластичность же снижается, по границам зерен образуются железомарганцовистые карбиды, аустенит же частично переходит в мартенсит. Обрабатываемость такого рода сталей очень плохая.

V, Mo, Cr, W в определенных пределах повышают прочность и вязкость сталей, что ухудшает их обрабатываемость.

При обработке жаропрочных и коррозионностойких сталей и сплавов наибольшее влияние на обрабатываемость оказывают алюминий и титан, [2]. Алюминий совместно с титаном образуют интерметаллические соединения, значительно упрочняющие сплавы и ухудшающие их обрабатываемость. Причем, обрабатываемость жаропрочных и коррозионностойких сталей зависит не только от процентного содержания в сплаве Al и Ti, но и от вида термообработки. При отпуске и отжиге выделяется большое количество интерметаллидов, которое приводит к упрочнению сплавов и снижению обрабатываемости. При закалке же часть интерметаллидов переходит в твердый раствор, что приводит к улучшению обрабатываемости.

Увеличение содержания Cr до 30% незначительно сказывается на обрабатываемости жаропрочных сталей. Содержание Mo до 2% в жаропрочных сталях мало сказывается на их обрабатываемости резанием. Вместе с тем, кремний значительно снижает обрабатываемость такого рода сталей.

Как отмечается в работе [3], наряду с перечисленными факторами на обрабатываемость сталей большое влияние оказывает и микроструктура.

Известно, что мягкие стали ферритного класса с содержанием в структуре до 20% перлита (П) обладают наилучшей обрабатываемостью. При большем содержании феррита (Ф) возможна хорошая обрабатываемость при условии некоторого снижения пластичности путем предварительной холодной обработки. С другой стороны, стали с повышенным содержанием П в структуре характеризуются более высоким сопротивлением деформации. Однако, в ряде случаев сопротивление резанию заметно не изменяется, т. к. некоторые динамические характеристики процесса резания улучшаются. Вместе с тем, стойкость инструмента снижается в связи с увеличением доли твердого цементита, [4]. Как видно, истирающая способность перлита зависит от формы находящегося в нем цементита. У пластинчатого перлита она больше, у зернистого – меньше. Причем, чем меньше зерно, тем лучше обрабатываемость.

В соответствии с данными работы [1], лучшей обрабатываемостью из всех структур обладает феррит, затем в порядке ухудшения обрабатываемости идут зернистый и пластинчатый перлит, сорбит и троостит. Авторами приводятся таблицы, отображающие влияние структуры стали на период стойкости режущего инструмента и шероховатость обработанной поверхности.

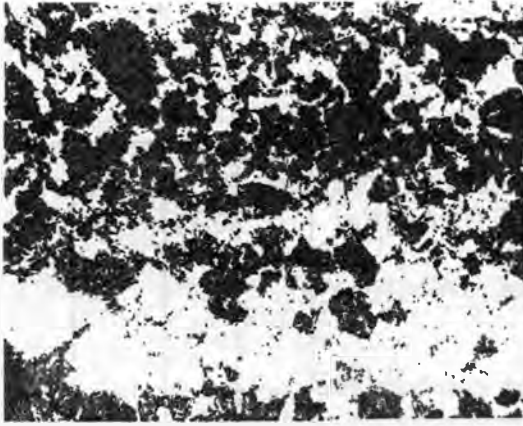
Авторами данной работы были проведены обширные исследования обрабатываемости сталей 20Х, ШХ15, ШХ15СГ, Р6М5, 9ХС, 35ХГСА, 38ХМЮА, У12, стали 45 и 20ХН3А в зависимости от химсостава, режимов термообработки, физико-механических свойств, параметров тонкой кристаллической структуры, градиента остаточного магнитного поля, амплитуды колебательных ускорений и процентного содержания структурных составляющих. Нашими исследованиями, проведенными в производственных условиях Минского автомобильного завода, установлено, что на обрабатываемость стали 20ХН3А большое влияние оказывает наличие в структуре бейнита (Б), о чем в технической литературе, кроме как в [5], не упоминается.

Были исследованы заготовки шестерен на 36 режимах термической обработки при различных способах охлаждения: вместе с печью, на спокойном воздухе и в струе воздушного потока. При этом были получены структуры бейнит+феррит (Б+Ф) при охлаждении на спокойном воздухе и в струе воздуха, феррит+перлит пластинчатый (Ф+П<sub>пл</sub>) при охлаждении вместе с печью, бейнит +феррит +перлит пластинчатый (Б+Ф+П<sub>пл</sub>) при охлаждении на спокойном воздухе (всего в двух случаях) и феррит+перлит пластинчатый+перлит зернистый 10% (Ф+П<sub>пл</sub>+П<sub>зерн</sub> 10%) при охлаждении вместе с печью, рисунок 1.

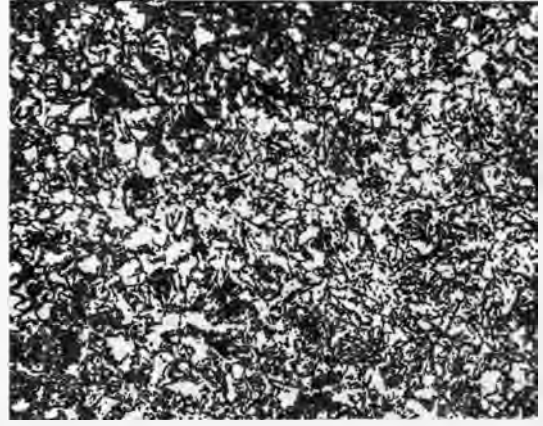
С помощью регрессионного анализа установлено, что самой плохой обрабатываемостью из всех полученных структур при скоростях резания, превышающих 60 м/мин, обладает бейнит+феррит, рисунки 2 и 3. Однако, как показали опыты, обрабатываемость сталей с такой структурой во многом зависит от режимов термообработки, в частности, от скорости охлаждения. Так, при обработке стали со структурой Б+Ф, образовавшейся при охлаждении на спокойном воздухе, средний износ по задней грани  $h_{cp} = 0,18$  мм, а при обработке той же структуры, полученной при охлаждении в струе воздуха –  $h_{cp} = 0,14$  мм.

Следует отметить, что обрабатываемость бейнитно-ферритной структуры во многом зависит и от скорости резания. Так, при точении образцов, охлажденных в струе воздуха, со скоростью  $V=30$  м/мин средний износ  $h_{cp} = 0,14$  мм и был самым малым из всех способов охлаждения. С увеличением скорости до  $V=60$  м/мин и выше обрабатываемость структуры Б+Ф была наихудшей,  $h_{cp} = 0,67$  мм.

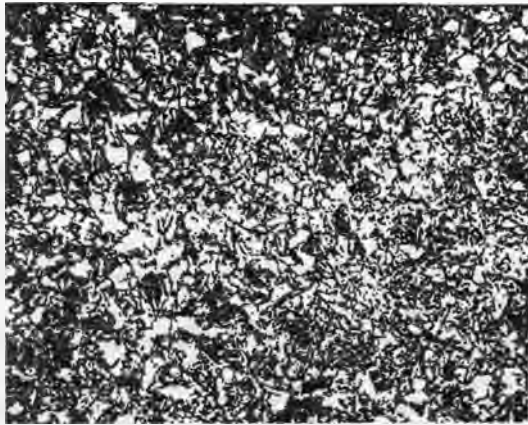
Японскими исследователями [5] было высказано предположение, что структура верхнего бейнита и феррита имеет сравнительно невысокую пластичность по сравнению со структурой Ф+П, поэтому достаточно хорошо обрабатывается резанием. Самой лучшей обрабатываемостью из перечисленных выше обладала структура Ф+П<sub>пл</sub> + П<sub>зерн</sub> 10%. Но она была зарегистрирована только в одном случае из 36 (5 образцов).



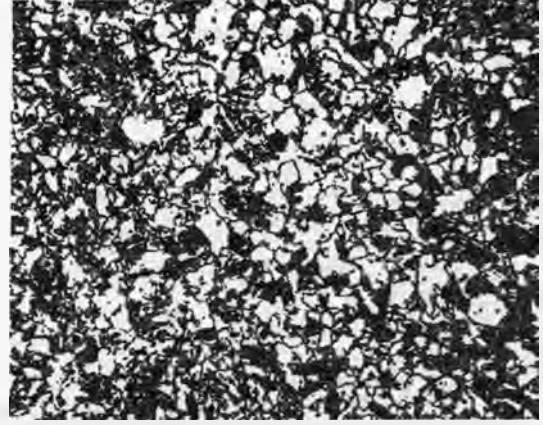
Ф+П<sub>ГЛ</sub>+ П<sub>ЗЕРН</sub>(10%),  $t_{\text{выд}}=10$  ч,  $T=840^{\circ}\text{C}$ ,  
 $h_{\text{CP}}=0,08$  мм,  $R_z=930$  Н,  $\text{HB}=179$ , охлаждение  
 с печью,  $Ra=11,2$  мкм.



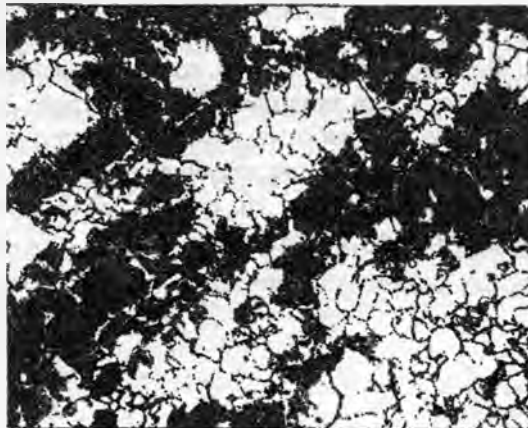
Б+Ф,  $h_{\text{CP}}=1,19$  мм,  $t_{\text{выд}}=10$  ч,  $T=860^{\circ}\text{C}$ ,  
 $R_z=1033$  Н  
 $\text{HB}=255$ , охлаждение в струе воздуха,  
 $V=60$  м/мин,  $Ra=8,4$  мкм.



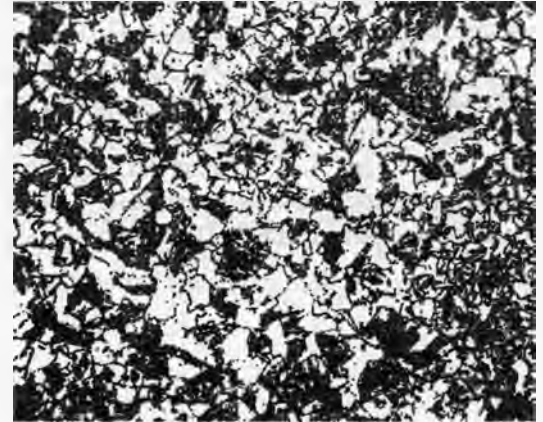
Б+Ф,  $h_{\text{CP}}=1,19$  мм,  $t_{\text{выд}}=10$  ч,  $T=860^{\circ}\text{C}$ ,  
 $R_z=1033$  Н  
 $\text{HB}=255$ , охлаждение в струе воздуха,  
 $V=30$  м/мин,  $Ra=8,4$  мкм.



Б+Ф,  $h_{\text{CP}}=0,11$  мм,  $t_{\text{выд}}=8$  ч,  $T=860^{\circ}\text{C}$ ,  
 $R_z=1020$  Н  
 $\text{HB}=255$ , охлаждение на спокойном воздухе,  
 $V=60$  м/мин,  $Ra=9,9$  мкм.



Ф+П<sub>ГЛ</sub>,  $h_{\text{CP}}=0,12$  мм,  $t_{\text{выд}}=8$  ч,  $T=840^{\circ}\text{C}$ ,  
 $R_z=938$  Н  
 $\text{HB}=179$ , охлаждение с печью,  $Ra=6,1$  мкм.



Ф+П+Б,  $h_{\text{CP}}=0,11$  мм,  $t_{\text{выд}}=10$  ч,  $T=860^{\circ}\text{C}$ ,  
 $R_z=1042$  Н,  $\text{HB}=229$ , охлаждение на спо-  
 койном воздухе,  $Ra=10,4$  мкм.

Рис. 1. Микроструктура стали 20ХНЗА при различных режимах термообработки

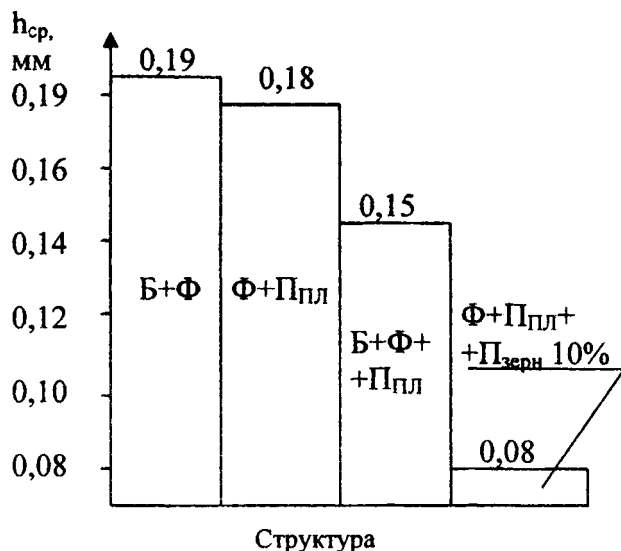


Рис. 2. Зависимость износа резцов от структуры стали 20ХН3А

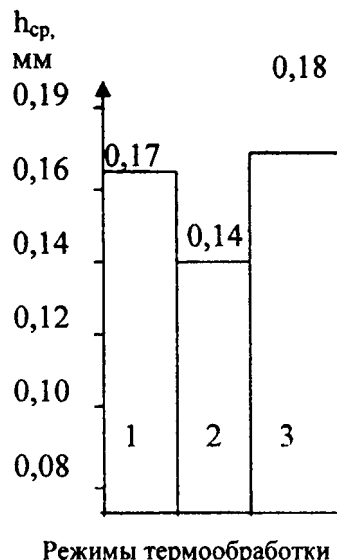


Рис. 3. Зависимость износа резцов от режимов термообработки

#### Выводы

1. На обрабатываемость сталей резанием значительное влияние оказывают химический состав, режимы термообработки, особенно скорость охлаждения, твердость, действительный предел прочности, пластические свойства и структура стали.
2. Самые стабильные результаты по структуре и обрабатываемости стали 20ХН3А дает охлаждение в струе воздуха.
3. Из всех полученных структур наилучшей обрабатываемостью обладает структура Ф+П<sub>пл</sub> + П<sub>зери</sub> 10%.
4. Наиболее стабильной и чаще других встречающейся структурой при охлаждении в струе воздуха является структура Б+Ф. Ее обрабатываемость в сильной степени зависит от скорости резания: при скоростях до  $V=30$  м/мин обрабатываемость хорошая, при  $V=60$  м/мин и выше – резко ухудшается.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. П.И. Ящерицын и др. Теория резания. Физические и тепловые процессы в технологических системах: Учеб. для вузов / П.И. Ящерицын, М.Л. Еременко, Е.Э. Фельдштейн. – Мн.: Выш. шк., 1990. – 512 с.: ил.
2. В.М. Кишуров. Влияние химического состава и физико-механических свойств металлов и сплавов на обрабатываемость резанием.
3. Фельдштейн Э.И. Обрабатываемость сталей в связи с условиями термической обработки и микроструктурой. – М., 1953. 235 с.: ил.
4. Г.И. Беляева, В.Д. Русый, В.А. Бакин. Влияние термической обработки на обрабатываемость стали резанием. – Машиностроение, 1985, вып. 10, с. 117-120.
5. Араки Т. Обрабатываемость сталей. Пер. с японского „Нихон киндзоку гаккай кайхо“, 1978, т.17, №2, с. 94-98.