

M236/86

Министерство высшего и среднего специального образования СССР

Московское
ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени
высшее техническое училище имени Н. Э. Баумана

ЗВЯГИНА Людмила Дмитриевна

На правах рукописи

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА БЫСТРОРЕЖУЩЕЙ
СТАЛИ, НЕ СОДЕРЖАЩЕЙ ВОЛЬФРАМА

(Специальность — 05.16.01 — «Металловедение и
термическая обработка металлов»)

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

НА ДОМ
НЕ ВЫДАЕТСЯ

Работа выполнена в Московском ордена Ленина и ордена
Трудового Красного Знамени высшем техническом училище
им. Н. Э. Баумана.

Научный руководитель:
заслуженный деятель науки и техники,
доктор технических наук, профессор И. И. СИДОРИН

Официальные оппоненты:
заслуженный деятель науки и техники,
доктор технических наук, профессор А. П. ГУЛЯЕВ;
кандидат технических наук, доцент В. П. ПОКРОВСКИЙ.

Ведущее предприятие — указано в решении Ученого Совета

Автореферат разослан « »

1974 г.

Защита диссертации состо
на заседании Совета факульт
ции производства МВТУ им. И
107005, 2-я Бауманская, д. 5.

Ваши отзывы в 2-х экзема
сим направлять по указани

С диссертацией можно о
им. Н. Э. Баумана.

Ученый секретарь Со
доктор технических наук, до

M236186

ВВЕДЕНИЕ

История развития быстрорежущих сталей, которая насчитывает более 70 лет, обнаруживает давно наметившуюся тенденцию — постоянный поиск ученых рациональных составов быстрорежущих сталей с минимальным количеством дорогостоящих легирующих элементов, к которым относятся вольфрам, кобальт и молибден.

Особенно остро всегда стоял вопрос с вольфрамом. Его дефицит растет из года в год. Это связано с постоянно растущей потребностью в вольфраме различных областей техники.

Однако, общие запасы вольфрама в земной коре невелики. Так, если судить только по капиталистическим странам, то запасы ванадия составляют 6,7 млн. т., молибдена — 5,2 млн. т., кобальта — 2,8 млн. т., тогда как запасы вольфрама составляют всего 866 тыс. т.

В области создания быстрорежущих сталей с пониженным содержанием вольфрама достигнуты большие успехи: хорошо зарекомендовавшая себя высоковольфрамовая сталь P18 была окончательно вытеснена сталью P6M5.

Однако, работ в области разработки и исследования быстрорежущих сталей, не содержащих вольфрама, очень мало.

Среди причин, встающих на пути создания новых быстрорежущих сталей, надо отметить большие сложности, связанные с оценкой износостойкости, которая, как правило, производится на готовом инструменте. Постановка таких экспериментов обходится очень дорого, а самое главное, часто не оправдывает себя из-за невозможности учесть все технологические особенности изготовления и испытания инструмента, что приводит к серьезным ошибкам и неправильным выводам. Поэтому в настоящей работе большое внимание уделялось вопросу определения износостойкости быстрорежущих сталей.

В случае успешного решения этого вопроса в настоящей работе ставилась цель — найти рациональный состав быстрорежущей стали с минимальным количеством дорогостоящих легирующих элементов и не содержащей в своем составе вольфрама.

ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ

МВТУ
им. Н. Э. Баумана
БИБЛИОТЕКА

И
НТБ МГТУ им. Н. Э. Баумана



1236186

Звягина П. Д. Исследование

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ.

Если совсем недавно испытания готового режущего инструмента считались единственно возможными для оценки режущих свойств стали, то в последнее время все настойчивее высказывается мысль о необходимости характеристики инструментального материала с точки зрения простых свойств, таких как, износостойкость, красностойкость и др. Однако существующие методы определения износостойкости - изнашивание инструментального материала обрабатываемым материалом, метод абразивного изнашивания без нагрева и др. не дают надежных результатов.

Несмотря на большое число теорий, призванных объяснить механизм износа инструмента с точки зрения абразивной, адгезионной, диффузионной, химической, электрической природы износа, большинство ученых, работающих в этой области, признают существование в той или иной форме абразивного вида износа.

В настоящей работе износостойкость как стандартных, так и опытных композиций, определялась методом абразивного изнашивания при температурах 20-700°C с интервалом в 100°C. Исследуемые образцы размером 5х6х20 мм³ изнашивались о цилиндрическую поверхность абразивного круга марки 39АС2К8Б. Для защиты от окисления образцы хромировались на глубину 10 мкм. Износ определялся по разности весов до и после испытания.

Кроме того, использовались различные методы определения красностойкости как при нагреве на установке конструкции М.Р. Лозинского и на твердомере типа Бринелли, так и путем замера твердости после дополнительных отпусков при различных температурах в течение 4-х часов. Установлено, что наиболее надежным и простым является последний метод, который и был использован в дальнейших исследованиях.

В процессе определения оптимального состава быстрорежущей стали без вольфрама наряду с металлографическими исследованиями широко проводился рентгеновский анализ с использованием установок УРС-55, УРС-50и и ДРОН-1.

При построении псевдобинарной диаграммы состояния в координатах "температура, °С - содержание углерода, %" для стали М5Ф5 использовалась установка ВДТА, основанная на принципе дифференциального термического анализа, позволявшая построить большую часть диаграммы за исключением кривых изменения растворимости.

При исследовании механических свойств опытной быстрорежущей стали без вольфрама М5Ф5 определялись предел прочности на изгиб при сосредоточенной нагрузке и ударная вязкость на образцах без надреза.

С целью изучения технологических свойств стали М5Ф5 исследовались пластичность при температурах 700–1200°C на установке СМЭГ-ЮТ и шлифуемость с применением новейшего абразивного материала эльбора по методике кафедры "Обработка металлов резанием" МВТУ им. Баумана.

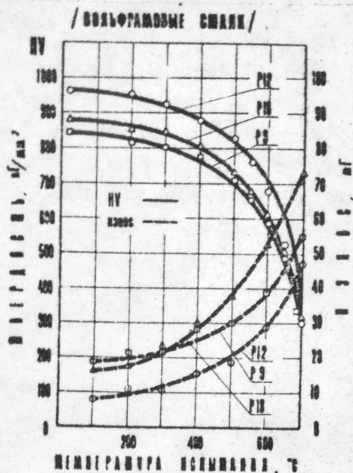
При измерении теплопроводности стали М5Ф5 двумя способами – абсолютным энергетическим и относительным методом надежные результаты были получены последним методом.

1. ИССЛЕДОВАНИЯ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ И КРАСНОСТОЙКОСТИ СТАНДАРТНЫХ БЫСТРОРЕЖУЩИХ СТАЛЕЙ.

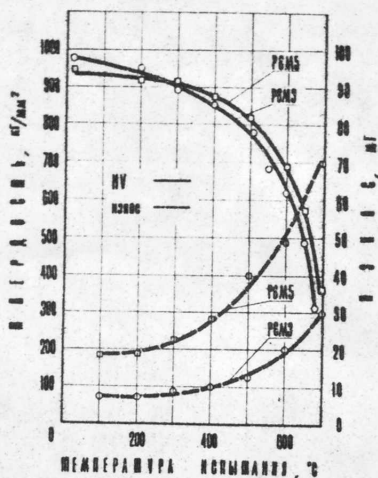
Для исследования износостойкости методом абразивного изнашивания при нагреве были взяты наиболее распространенные стандартные быстрорежущие стали: Р18, Р12, Р9, Р9К5, Р9К10, Р18Ф2, Р9Ф5, Р6М3 и Р6М5. Кроме того исследовалась красностойкость тех же сталей при нагреве на установке УИМВ-1 /рис.1/.

Результаты исследования износостойкости стандартных быстрорежущих сталей методом абразивного изнашивания при нагреве были сопоставлены с результатами испытаний проходных резцов, в которых величина износа определялась методом микрометрических измерений. С этой целью были произведены следующие дополнительные построения: на основании кривых зависимости "температура на контактной поверхности резца – скорость резания" и "величина суммарного износа по задней и передней режущим поверхностям – скорость резания", зафиксированные через 8 мин. после начала работы резца, были построены кривые в координатах "суммарный износ – температура на контактной поверхности резца".

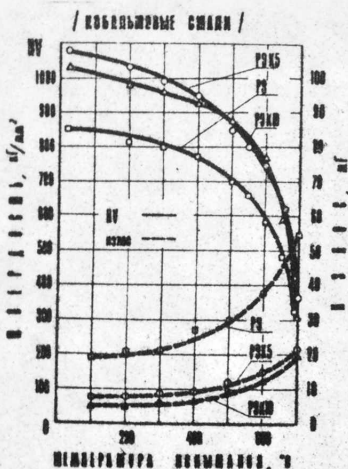
Сопоставление построенных таким образом кривых с полученными нами экспериментальными кривыми свидетельствует о качественном соответствии 2-х методов: так, из данных исследования сталей методом абразивного изнашивания при нагреве и данных испытания проходных резцов при режиме резания $t = 2$ мм и $S = 0,1$ мм/об следует, что самую низкую износостойкость имеет сталь Р18, самую высокую – кобальтовая сталь Р9К5 и высокованадиевая Р9Ф5.



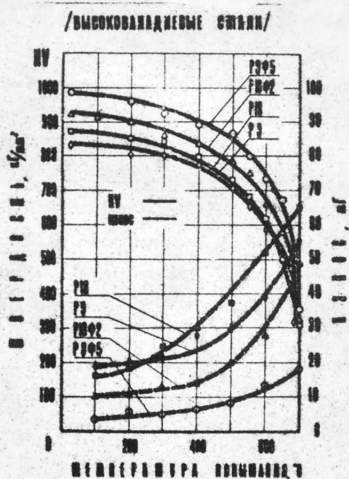
I.



2.



3.



4.

Рис. I. Зависимость износа и красностойкости высоковольфрамовых /1/, вольфрамомолибденовых /2/, кобальтовых /3/ и высокованадиевых /4/ сталей от температуры испытания.

Исследования износостойкости тех же сталей методом абразивного изнашивания при комнатной температуре на машине Шкода-Савина показали непригодность этого метода для оценки износостойкости быстрорежущих сталей. Так, из данных табл. I следует, что относительная износостойкость кобальтовой стали Р9К5 и высокованадиевой

таблица I

Марка стали	Р18	Р12	Р6М3	Р6М5	Р9К5	Р9Ф5	Р14Ф4
Относит. износост.	2,05	3,16	3,6	1,36	2,75	2,5	4,08

стали Р9Ф5 ниже, чем у сталей Р12 и Р6М3 и немного лучше, чем у стали Р18, что противоречит данным определения износостойкости режущего инструмента из этих же сталей.

Большое количество сталей, исследованных методом абразивного изнашивания при нагреве позволило проследить влияние основных легирующих элементов на износостойкость быстрорежущих сталей: весьма эффективно повышают износостойкость ванадий и кобальт /самую высокую износостойкость показали стали Р9Ф5, Р9К5 и Р9К10/. Из сравнения сталей Р18 и Р12 видно, что увеличение содержания вольфрама с 12 до 18% приводит к увеличению износа, что подтверждает существующее мнение о том, что содержание вольфрама в стали Р18 необоснованно завышено.

При сопоставлении результатов определения износа и красностойкости при нагреве /рис. I/ обнаруживается тенденция к уменьшению износа с повышением красностойкости. Однако ограничиваться измерением только одной красностойкости не следует, так как износостойкость стали зависит не только от состава твердого раствора, который определяет красностойкость стали, но и от качества и количества карбидной фазы.

Следует отметить, что величина износа не зависит от исходной твердости стали: так, кобальтовые стали Р9К5 и Р9К10 и сталь Р18Ф2, не отличающиеся по твердости /65,5 НRC/, существенно отличаются по величине износа. То же самое относится и к сталям Р18 и Р9Ф5 /63,5 НRC/.

2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО СОСТАВА БЫСТРОРЕЖУЩЕЙ СТАЛИ, НЕ СОДЕРЖАЩЕЙ ВОЛЬФРАМА.

Качественное соответствие результатов исследования износостойкости быстрорежущих сталей методом абразивного изнашивания при нагреве с литературными данными позволило нам поставить исследовательскую работу по разработке новой композиции быстрорежущей стали, не содержащей вольфрама.

В поисковой части работы основой для исследования послужила сталь, содержащая 5% Mo, 5% V, 5% C_ч и 1% Si. Ее состав был выбран на основании тщательного анализа литературных источников и наших результатов исследования износостойкости стандартных сталей, которые обнаруживают возможность сокращения вольфрама за счет молибдена и ванадия. Кремний вводился в сталь для упрочнений твердого раствора.

Для определения оптимального количества углерода в стали, содержащей 5% Mo, 5% V, 5% C_ч и 1% Si /типа 5-5-5/, углерод меняли от 1,1% до 2,0%.

Термообработка сталей заключалась в закалке с температур, обеспечивающих получение зерна аустенита не крупнее 10-го балла и трехкратном отпуске при 560°C с выдержкой по 1 часу.

Наибольшую износостойкость показала сталь с 1,5% C. Снижение количества углерода до 1,3% привело к увеличению износа вследствие уменьшения количества карбидов по сравнению со сталью с 1,5% C. Особенно резкое увеличение износа при уменьшении содержания углерода до 1,1% /при температуре 600°C износ стали с 1,5% C составил всего 12 мГ, а износ стали с 1,1% C достиг 198 мГ/ объясняется образованием в процессе закалки продуктов распада δ - феррита - так называемого " δ - эвтектоида", очень низкая твердость которого /HV = 410 - 470/ привела к существенному снижению твердости стали до 42-46 HRC. Несмотря на дальнейшее увеличение количества карбидов износ стали с 1,8% C увеличился по сравнению со сталью с 1,5% C вследствие повышенного количества остаточного аустенита /19,5% после закалки с 1180° и трехкратного отпуска при 560°/.

При изменении содержания ванадия от 1 до 5% в стали типа 5-5-5 /остальные легирующие элементы оставались постоянными/ установлено, что при уменьшении количества ванадия усиливается насыщение твердого раствора углеродом, что привело к усилению эффекта вторичного твердения, повышению красностойкости и устойчивости стали против

отпуска. Несмотря на это, по мере снижения количества ванадия износ сталей увеличивается за счет уменьшения количества карбидов, в основном типа MC, и увеличения количества остаточного аустенита.

Как и следовало ожидать, при увеличении количества ванадия за счет измельчения зерна аустенита и снижения легированности твердого раствора углеродом происходит значительное повышение механических свойств: так, если после закалки с 1220°C и трехкратного отпуска при 550°C ударная вязкость стали с 3% V составила всего 1,2 кгм/см², то у стали с 5% V она достигла 5,8 кгм/см².

На основании проведенных исследований стали типа 5-5-5 /5% Mo, 5% V, 5% C и 1% Si / было найдено оптимальное соотношение ванадия и углерода - 1,5% C и 5% V, обеспечивающее высокую износостойкость /такую же, как у стали P905/, удовлетворительную красностойкость /59 HRC после 4-х часовой выдержки при 620°C/ и высокие механические свойства.

2. Влияние молибдена на свойства безвольфрамовой быстрорежущей стали изучалось путем изменения его содержания от 1 до 6% с интервалом в 1%, для чего было выплавлено 6 опытных плавок.

Исследования микроструктуры показали, что молибден не влияет на величину зерна аустенита. Поэтому для всех плавок, отличающихся содержанием молибдена, проводилась закалка с одной и той же температуры 1220°C, которая обеспечивала получение зерна не крупнее 10-го балла, и трехкратный отпуск при 560°C.

На основании рентгеновских исследований установлено, что молибден способствует увеличению количества остаточного аустенита, что согласуется с результатами работы В.Д. Садовского, в которых показано, что молибден понижает точку мартенситного превращения. По мере увеличения содержания молибдена за счет увеличения количества остаточного аустенита снижается твердость стали после закалки.

Установлено, что молибден повышает красностойкость и износостойкость: если при 600°C износ при 1% Mo составил 48 мГ, то при 6% Mo он снизился до 38 мГ. Это достигается за счет дополнительного легирования твердого раствора молибденом.

Исследования трех плавок, в которых одновременно снижалось содержание молибдена, ванадия и углерода /I-1,3% C, 4% Mo, 4% V; II - 1,1% C, 3% Mo, 3% V; III - 1,0% C, 2% Mo, 2% V / показали

нецелесообразность применения сталей подобного состава из-за низкой красностойкости и износостойкости.

3. Для определения оптимального содержания хрома в стали с 1,5% С, 5% Мо, 5% V и 1% Si были выплавлены отливки, в которых хром изменялся от 0 до 10% /0,36; 3,02; 4,96; 8,1 и 10,07% хрома/.

Проведенные рентгеновские исследования подтвердили существующее мнение о том, что хром повышает устойчивость аустенита /в стали без хрома после закалки с 1240°C его количество составило 20%, тогда как в стали с 10% хрома - 55%/.

Максимальная твердость после закалки получена у сталей с 3 и 5% хрома. Если снижение твердости у сталей с 8 и 10% происходит из-за повышенного содержания остаточного аустенита, то еще большее снижение твердости у стали без хрома можно объяснить только пониженной легированностью твердого раствора из-за худшей растворимости карбидов, не содержащих в своем составе хрома.

Последующий трехкратный отпуск при 560° повысил твердость только у сталей с 3 и 5% хрома, у остальных сталей в результате отпусков твердость снизилась и особенно интенсивно у стали без хрома - до 38 HRC.

Максимальную красностойкость и износостойкость показали стали с 3 и 5% хрома с некоторым преимуществом у стали с 5%: после 4-х часовой выдержки при 620° твердость стали с 5% хрома составила 58,5 HRC, с 3% - 58 HRC. Очень низкая красностойкость у стали без хрома - 38 HRC и несколько выше у сталей с 10 и 8% хрома - 44 и 52 соответственно.

Таким образом, было установлено, что оптимальным количеством хрома в стали типа 5-5-5 являются 5%. При меньшем содержании хрома, а также при его отсутствии снижаются устойчивость против отпуска, износостойкость и красностойкость, что объясняется худшей растворимостью карбидов в твердом растворе. Излишне высокое содержание хрома /8 и 10%/ приводит к другой крайности - слишком высокая растворимость карбидов делает их неустойчивыми, при нагреве они легко коагулируют, обедняя тем самым твердый раствор легирующими элементами.

Влияние кремния на свойства стали типа 5-5-5 изучалось на отливках весом по 17 кг, содержащих 0,45; 0,75; 1,01; 1,33 и 1,57% кремния.

Уменьшение износа стали за счет кремния /при 600° износ стали без кремния составил 24 мГ, в стали с 1,57% кремния он снизился до 14 мГ /вероятно происходит вследствие того, что кремний весьма эффективно упрочняет твердый раствор и, кроме того, уменьшает окисление при истирающих нагрузках. Повышение красностойкости при увеличении содержания кремния подтверждает существующее мнение о том, что кремний упрочняет твердый раствор.

Результаты механических испытаний, которые проводились на большом количестве образцов при различных вариантах термической обработки, показали, что предел прочности на изгиб сталей, содержащих 0,45–1,01% кремния колеблется в узком интервале /после закалки с 1240°С и отпуща при 540°С $\sigma_{изг.} = 380\text{--}440 \text{ кг/мм}^2$ / и значительно снижается при содержании кремния свыше 1% /до 150 – 180 кг/мм² при 1,33 и 1,57% соответственно/.

Результаты испытаний на ударную вязкость аналогичны данным, полученным при испытаниях на изгиб: при содержании кремния больше 1% /1,33 и 1,57%/ наблюдается существенное снижение ударной вязкости – до 1,8 и 1,25 кгм/см², тогда как для сталей с 0,45 – 1,01% кремния α_K колеблется в пределах 4,2–4,5 кгм/см².

Таким образом, на основании проведенных исследований сделано заключение о целесообразности введения кремния в сталь М5Ф5 в количестве 0,9–1,0%.

3. ПОСТРОЕНИЕ ПСЕВДОБИНАРНОЙ ДИАГРАММЫ СОСТОЯНИЯ.

Необходимость в построении диаграммы состояния диктовалась постоянно растущим интересом к высокованадиевым сталям в связи с успешным освоением промышленностью производства эльбора, что окончательно разрешило проблему шлифования этих сталей.

Для построения диаграммы были выплавлены 10 сталей, содержащих 5% Mo, 5% V, 5% Сч и 1% Si и отличающиеся друг от друга содержанием углерода. Углерод изменялся от 0,09% до 2,0%.

Для всех исследуемых сплавов критические точки превращений определялись на термограммах нагрева как точки пересечения касательных, проведенных в месте изгиба на термограмме. Критические точки на термограммах охлаждения использовались в качестве подтверждения действительного существования аналогичных точек на термограммах нагрева. Термограммы нагрева и охлаждения записывались в координатах "разность температур образца и окружающей среды –

- температура образца" с помощью установки ВДА, основанной на принципе дифференциального термического анализа.

Анализ построенной диаграммы состояния показал, что как и во всякой многокомпонентной системе в соответствии с правилом фаз перитектическая и эвтектическая реакции протекают в интервале температур.

С построением диаграммы стал ясен ряд вопросов, возникших в процессе определения оптимального состава безвольфрамовой быстрорежущей стали. Так, стало понятно, что резкое увеличение износа стали с 1,1% С произошло из-за превращения в процессе закалки

δ - феррита, сохранившегося по перитектической реакции:
 $L + \alpha_{\delta} \rightarrow \delta$, в δ - эвтектоид.

Из диаграммы видно, что в интервале концентраций 1,0-1,6% углерода линии солидуса почти не понижается, но при дальнейшем повышении содержания углерода резко снижается, что приводит к значительному ослаблению межатомных связей и, как следствие, укрупнению зерна аустенита. Это подтвердилось на практике на примере стали с 1,8% С.

С помощью карбидного анализа обнаружены при существенном недостатке углерода /до 0,14% С/ только карбиды типа M_6C , при большем содержании углерода /до 0,7% С/ - только карбиды типа MC . Дальнейшее увеличение углерода привело к образованию как карбидов типа MC , повышающих износостойкость, так и карбидов типа M_6C , за счет которых повышается красностойкость и износостойкость.

4. ИССЛЕДОВАНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СТАЛИ М5Ф5

Для исследований механических и технологических свойств, а также для промышленного опробования стали М5Ф5 из отливок весом по 27 кг были изготовлены штанги $20 \times 30 \text{ мм}^2$ с помощьюковки /степень укова 20:1/ и прутки $15 \times 15 \text{ мм}^2$ с помощью прокатки /степень укова 50:1/.

Из штанг $20 \times 30 \text{ мм}^2$ были изготовлены проходные резцы и ножи для соорных фрез, из прутков $15 \times 15 \text{ мм}^2$ - сверла и образцы для механических испытаний.

Изотермический отжиг при температуре 750°C в течение 3-4 часов обеспечивает удовлетворительную обрабатываемость резанием.

Пластичность при температурах 700-1200°C /ковкость/ определялась путем скручивания специальных образцов до разрушения как из стали М5Ф5, так из стали Р18. Установлено, что обе стали имеют одинаковую пластичность при нагреве.

Высокая чистота отшлифованной поверхности, отсутствие каких-либо структурных изменений, а также удовлетворительные значения таких критериев шлифуемости, как коэффициент режущей способности круга и удельный расход круга показали целесообразность использования эльборовых кругов марки ЛЮБИ-100% для шлифования предлагаемой стали М5Ф5.

Механические испытания проводились при различных вариантах термической обработки /закалка с температур 1180, 1200, 1210, 1220, 1230, 1240°C и трехкратный отпуск при 530, 540, 550, 560, 580° с различными выдержками при закалке, с охлаждением как в масле, так и в селитре с температурой 580-600°C.

Проведенные испытания позволили установить оптимальный режим термической обработки - закалка с 1220°C в масле или в селитре с температурой 580-600°C и трехкратный отпуск при 550°C с выдержкой по I часу, который обеспечивает получение достаточно высоких механических свойств: $\sigma_{изг.} = 300 \text{ кг/мм}^2$ и ударная вязкость $\alpha_K = 5,8 \text{ кгм/см}^2$.

Теплопроводность стали М5Ф5 после закалки и отпуска при температурах испытания до 600°C выше, чем у стали Р18. При 700°C она незначительно снизилась с 25,5 при 600°C до 25,1 Вт/м·град при 700°C, тогда как у Р18 при 600 и 700°C $\lambda = 25,3 \text{ Вт/м·град}$.

Достаточно высокая красностойкость стали М5Ф5 - Кр58 = 610 - 620°C обеспечивается повышенным содержанием ванадия /1,95%/ и кремния /0,95%/ в твердом растворе. Для сравнения у Р18 - Кр58 = 620-630°C, у американской стали М10 - Кр58 = 600°C.

Стойкостные испытания сверл и фрез проводились в бюро надежности завода "Фрезер", проходные резцы испытывались на кафедре "Обработка металлов резанием" МВТУ им.Баумана.

В соответствии с полученными актами промышленного опробования:

а/ средняя стойкость фрезерованных сверл $\varnothing$ 7,5 мм составляет 68,7 мин. машинного времени, что в 4 раза превышает гарантированный уровень стойкости сверл этого размера из быстрорежущих сталей, содержащих вольфрам, и в два раза превышает средний уровень стойкости по ЦБПНТ;

б/ стойкость дисковых трехсторонних фрез $\varnothing$ 160 мм составляет 229,6 мин. машинного времени, что в 1,5 раза превышает среднюю нормативную стойкость фрез из стандартных быстрорежущих сталей;

в/ стойкость проходных резцов из стали М5Ф5 при средних скоростях резания в 1,5-2 раза превышает стойкость стали Р18, при высоких скоростях /более 55 м/мин./ стойкость резцов из стали М5Ф5 ниже стойкости резцов из Р18 на 5-10%, что можно объяснить повышенным содержанием ванадия в стали М5Ф5, из которой были изготовлены резцы - 5,9% V против рекомендуемого 4,5-5,5%.

ВЫВОДЫ

1. При исследовании как стандартных быстрорежущих сталей, так и опытных композиций впервые применен метод абразивного изнашивания при нагреве. Достоинством этого метода являются отсутствие погрешностей технологического характера, свойственных испытаниям готового инструмента, которые приводят к серьезным ошибкам и неправильным выводам, а также несравнимо меньшие расходы, связанные с постановкой эксперимента.

2. При сопоставлении результатов исследования износа и красностойкости быстрорежущих сталей при нагреве установлена тенденция к уменьшению износа с повышением красностойкости. Однако ограничиваться измерением только одной красностойкости не следует, т.к. износостойкость стали зависит не только от состава твердого раствора, который определяет красностойкость стали, но и от качества и количества карбидной фазы.

3. В основу работы по разработке новой композиции быстрорежущей стали, не содержащей вольфрама, был положен метод дифференцированной оценки режущих свойств стали по ее отдельным свойствам, к которым относятся износостойкость, красностойкость, механические и технологические свойства. Последующее промышленное опробование режущего инструмента, изготовленного из стали найденного состава, подтвердили правильность выбранного метода.

4. Метод дифференцированной оценки режущих свойств материала, а также исследование износостойкости методом абразивного изнашивания при нагреве позволили определить оптимальный химический состав безвольфрамовой быстрорежущей стали, содержащей /1,45-1,55/% C; /4,5-5,5/% Mo; /4,5-5,5/% V ; /4,5-5,0/% C₄; /0,9-1,0/% Si .

5. Построен политермический разрез диаграммы состояния для безвольфрамовой быстрорежущей стали М505 в системе координат "температура в °С - содержание углерода в %", которая представляет определенное практическое и теоретическое значение.

6. Наряду с износостойкостью, красностойкостью, рентгеновскими и микроисследованиями лабораторных плавок стали М505 были произведены всесторонние исследования технологических и механических

свойств полупромышленных плавок. Эти исследования позволили установить, что сталь в отожженном состоянии хорошо обрабатывается резанием, удовлетворительно куется в интервале температур 950 - 1150°C. Для шлифования рекомендуются эльборовые круги марки ЛЮБИ-100%.

7. На основании исследования механических свойств установлен оптимальный режим термической обработки: закалка с температуры 1220°C в масле или селитре с температурой 580-600°C и трехкратный отпуск при 550°C, обеспечивающий получение достаточно высоких механических свойств: предел прочности на изгиб $\sigma_{изг.} = 280 - 300 \text{ кг/мм}^2$ и ударная вязкость $Q_K = 5,8 \text{ кгм/см}^2$.

8. Стоимость металлургического производства стали М5Ф5, подсчитанная по прейскуранту ОI-ОI, составляет 1300 руб. за тонну, для сравнения П18 - 2500 руб.; Р6М5 - 2300 руб. Удорожание процесса изготовления режущего инструмента в связи с применением эльбора составит 15%.

9. Удовлетворительные результаты промышленного опробования сверл и фрез на заводе "Фрезер", показали целесообразность использования в промышленности стали М5Ф5 для изготовления режущего инструмента. Широкие промышленные испытания этой стали позволят конкретизировать возможности ее промышленного использования.

Основные положения настоящего исследования опубликованы в следующих статьях:

1. Сидорин И.И., Звягина Л.Д. "Сравнительное исследование быстрорежущих сталей на красностойкость и износ при высоких температурах". Известия ВУЗов. Машиностроение, № 10, 1973 г.

2. Сидорин И.И., Звягина Л.Д. "Безвольфрамовая быстрорежущая сталь". Известия ВУЗов. Машиностроение, № 2, 1974 г.