

НАПЛАВКА РЕЗЦОВ БЫСТРОРЕЖУЩЕЙ СТАЛЬЮ УГОЛЬНЫМ ЭЛЕКТРОДОМ

ДОБРОВИДОВ А. Н.

Профессор, доктор техн. наук

БАЛАКИН Н. А.

Доцент, кандидат техн. наук

РОЗЕНБЕРГ А. М.

Профессор, доктор техн. наук

ТЮТЕВА Н. Д.

Доцент, кандидат техн. наук

Введение

Дефицитность быстрорежущей стали, объясняющаяся дефицитностью основного легирующего ее элемента—вольфрама, привела к стремлению, с одной стороны, создать такие марки сталей, которые содержали бы меньшее количество вольфрама при сохранении тех же режущих качеств, с другой стороны,—к изысканию таких термических и термохимических методов обработки режущего инструмента, которые, повышая его режущие качества, тем самым приводили бы к уменьшению расхода инструмента. В результате изысканий появились малолегированные быстрорежущие стали, содержащие значительно меньшее количество вольфрама, а также различные методы улучшенной закалки и отпуска инструмента, цианирования, нитроцементации, химической обработки.

Стремление снизить количество отходов быстрорежущей стали при изготовлении инструмента привело к созданию многообразных сборных инструментов (фрез, зенкеров, разверток), у которых из быстрорежущей стали изготавливаются лишь небольшие части, непосредственно выполняющие работу резания, все же тело инструмента изготавливается из дешевой поделочной стали. Это же стремление привело к многочисленным и долготелым опытам по получению литого инструмента, который основную форму получал бы путем отливки.

Решение вопросов экономии быстрорежущей стали было бы неполным, если бы наряду с перечисленными выше задачами не был разрешен вопрос утилизации отходов быстрорежущей стали, в больших количествах имеющихся на машиностроительных заводах в виде стружки, получающейся при изготовлении режущего инструмента, мелкой лопи и остатков изношенного инструмента. Изношенный инструмент крупных размеров может быть использован для изготовления мелких размеров инструмента, но это не решает вопроса об утилизации мелкой лопи и, тем более, стружки быстрорежущей стали. Утилизация этих отходов для переплавки в слитки быстрорежущей стали или для изготовления литого инструмента вполне возможна, но осуществима лишь на ограниченном количестве предприятий, имеющих специальное металлургическое оборудование, и, таким образом, не решает полностью этого вопроса.

Незадолго до начала войны стали появляться предложения утилизировать отходы быстрорежущей стали путем наплавки этими отходами режущих элементов инструмента, используя для наплавки газовую или электрическую сварку. Был проведен и ряд исследований в этом направлении,

большей частью схематичных и неполных, не позволяющих надежно судить о режущих качествах получаемого инструмента. Общей мыслью всех этих предложений и исследований было создание на инструменте наплавленного слоя быстрорежущей стали путем расплавления ее ацетилено-кислородным пламенем или пламенем вольтовой дуги, возбуждаемой между электродом из быстрорежущей стали и телом инструмента.

Можно полагать, что и тот и другой способы дают неплохие результаты, но оба они обладают существенными недостатками.

Наплавка быстрорежущей стали ацетилено-кислородным пламенем позволяет утилизировать любой вид отходов быстрорежущей стали, но требует применения дефицитного карбида кальция и кислорода и наличия специальной газосварочной аппаратуры, не имеющей широкого распространения на машиностроительных заводах.

Способ наплавки быстрорежущей стали вольтовой дугой до сего времени разрабатывался исключительно путем использования метода Славянова (сварка металлическим электродом). Из быстрорежущей стали изготовляется прутко-электрод, который присоединяется к одному полюсу, навариваемый инструмент — к другому, между ними возбуждается вольтова дуга, в пламени которой прутко из быстрорежущей стали расплавляется и наплавляется на тело инструмента.

Недостатком этого метода прежде всего является необходимость изготовления электрода из быстрорежущей стали, что может быть выполнено путемковки крупных кусков быстрорежущей стали. Для этого не может быть использована быстрорежущая стружка. Вторым недостатком является необходимость изготовления сложной обмазки электродов, без которой нельзя получить качественного наплавленного слоя. В обмазку среди других компонентов входит дефицитное жидкое стекло высокого модуля.

Способ наплавки быстрорежущей стали ацетилено-кислородным пламенем был предложен, повидимому, инженером Лапидус.

Способ наплавки быстрорежущим электродом предлагался Вагинным и Бессоновым, а также Геллер и Новиковой.

Учтя недостатки этих способов и считая, что разрешение этого вопроса в условиях Отечественной войны является особенно актуальным, авторы настоящей работы (бригада научных работников Томского политехнического института) с 1943 года занялись разработкой и исследованием способа наплавки быстрорежущей стали с использованием угольного электрода (сварка по способу Бенардоса). Пламя вольтовой дуги возбуждается между угольным электродом и телом наплавляемого инструмента. Наплавка может производиться быстрорежущей сталью в любом виде (стружка, мелочь). Этот способ не должен был требовать ни дефицитных материалов, ни специального оборудования, должен был быть простым и доступным производству. При пользовании этим способом легко должно было осуществляться легирование наплавляемого металла желаемыми элементами, смешивание различных марок быстрорежущей стали в наплавляемом слое. Поэтому он должен был оправдать себя при наплавке не только быстрорежущих сталей типа РФ-1, но и их малолегированных заменителей.

Первые результаты исследований авторов были сообщены в картотеке ТЕХСО (карта № 999/60 за 1943 год) и затем в журнале „Вестник машиностроения“ № 7 за 1944 год.

В настоящей работе приводится итог исследований за 1943 и 1944 годы. Работа состоит из четырех глав. Первая глава дает теоретический разбор некоторых вопросов, связанных с получением наплавленного слоя быстрорежущей стали.

Вторая глава излагает технологию наплавки быстрорежущей стали угольным электродом, разработанную авторами.

Третья глава уделена изучению микроструктуры наплавленного слоя.

Четвертая глава излагает результаты лабораторных и производственных испытаний наплавленных резцов.

Вся работа выполнена с резцами, как с инструментом наиболее распространенным, простым и потому наиболее доступным широкому исследованию. Можно утверждать, что полученные результаты могут быть перенесены и на инструмент других типов.

Следует отметить, что до самого последнего времени ряд авторов полагает, что наплавка быстрорежущей стали, независимо от применяемого способа, не может дать качественного инструмента. Например, проф. Минкевич (Малолегированные быстрорежущие стали. Металлургиздат, 1944 г.) утверждает, что наплавка „приводит к созданию литой структуры, более хрупкой и менее удовлетворительной по режущим свойствам, и к некоторому, трудно учитываемому в каждом случае, изменению химического состава быстрорежущей стали, а следовательно, и к неоднородности режущих свойств в наплавленном инструменте“.

До сего времени это утверждение не могло быть опровергнуто, так как отсутствовали сколько-нибудь систематические исследования режущих качеств наплавленного инструмента. Авторами настоящей работы проведены достаточно полные испытания наплавленных резцов, которые показали, что применение разработанного авторами способа наплавки быстрорежущей стали угольным электродом дало резцы, не уступающие по своим режущим качествам резцам, изготовленным из прутковой быстрорежущей стали.

Работа была проведена в лабораториях металловедения и резания металлов Томского политехнического института им. С. М. Кирова.

ГЛАВА I

БЫСТРОРЕЖУЩАЯ СТАЛЬ И ПРИМЕНЕНИЕ ЕЕ ДЛЯ НАПЛАВКИ

1. Общая характеристика быстрорежущей стали

Прототипом современной быстрорежущей стали обычно считают сплав, предложенный в семидесятых годах прошлого столетия Моше. Вследствие значительного содержания углерода (около 2,2%) и легирующих элементов (примерно 6% вольфрама и 2% марганца) этот сплав следовало бы назвать легированным белым чугуном или твердым сплавом из карбидов вольфрама, марганца и железа. Он плохо ковался и обладал способностью закаливаться на воздухе.

Появление этой стали прошло незаметно, так как не было предпосылок для ее рационального применения, но в свое время она сделалась тем отправным пунктом, с которого началось развитие предложенной Тэйлором и Уайтом (1898 г.) стали, названной ими быстрорежущей. [1] Первые сплавы этих исследователей были близки стали Моше по высокому содержанию углерода (1,4%) и умеренному—вольфрама (8,4%).

Состав почти современной быстрорежущей стали был опубликован Тэйлором в 1903 году (0,7% C, 14,7% W и 2,9 Cr), а около 1906 года он дал рецепт знаменитой, сохранившей свое значение до нашего времени стали („Link Belt“ с содержанием C=0,7%, W=18%, Cr=5,7% и V=0,3%).

Тэйлор подходил чисто эмпирически ко всем своим исследованиям и никаких теоретических обоснований ни составу своей стали, ни способу ее термической обработки не пытался даже приблизительно дать. Да и вряд ли подобная работа была по плечу в то время, когда металлогра-

фия как наука только еще зарождалась. И неудивительно, что первые исследования по быстрорежущей стали давали очень мало для дальнейшего развития этого нового материала для резцов (например, работа Белера, 1904 г.) и дальнейшее совершенствование его шло ощупью (например, предложенная Бекером в 1912 г. добавка кобальта).

Типичная быстрорежущая сталь с большим содержанием вольфрама (18 и даже в сталях некоторых иностранных фирм—21% вольфрама)—сплав дорогой и именно из-за этого элемента дефицитный. Поэтому еще до Отечественной войны, когда недостаток вольфрамовой стали сделался особенно ощутительным, металлурги стали искать возможность замены этой дефицитной легирующей добавки более доступным элементом.

Теоретические основы такой замены довольно просты, если схематически считать быстрорежущую сталь в отожженном виде состоящей из эвтектоида, напоминающего по структуре и свойствам обычный перлит, первичных и вторичных карбидов.

В эти сложные карбиды входит вольфрам, хром, ванадий и иногда молибден. Примерная формула сложного карбида— $(W, Cr, V, Mo)_n C_m$. В пределах этого принципиального состава возможны изменения, зависящие и от температуры стали в данный момент и от скорости охлаждения до рассматриваемого момента. Изменение состава этого сложного карбида $(W, Cr, V, Mo)_n C_m$ в температурном интервале 1300—400° должно подчиняться общей формуле: $Me_n C_m + M'e_R \rightleftharpoons M'e_R C_m + nMe$. Равновесие системы при определенной температуре задается значением константы равновесия K

$$K = \frac{(Me_n C_m) (M'e)^R}{(M'e_R C_m) (Me)^n}$$

Состав первичного карбида должен быть иным, чем состав вторичного, и будет отличаться и от состава эвтектоидного [2]. Кроме того, явление несколько осложняется взаимодействием карбидов с элементами, входящими в твердый раствор (например, хром и отчасти вольфрам) и взаимодействием углерода карбидов и твердого раствора.

Но формула карбида быстрорежущей стали позволяет сделать некоторые обобщающие заключения о взаимозаменяемости элементов, входящих в его состав.

Вольфрам, хром, ванадий и молибден имеют геометрически подобные кристаллические решетки. К тому же у вольфрама и молибдена наблюдается сходное строение электронных оболочек, и атомы (а также и ионы) почти одинаковы по размеру. Аналогично строение электронной оболочки также у хрома, но размер его иона меньше.

Эти элементы дают сходные диаграммы состояния в двойных сплавах с железом (замкнутая область γ —твердого раствора), образуют с углеродом порознь простые карбиды и все вместе—упомянутый сложный карбид быстрорежущей стали. Считают, что в этом карбиде один атом вольфрама может быть заменен атомом любого другого из этих элементов, и тогда коэффициент замены будет равен, очевидно, отношению атомных весов вольфрама и элемента заменителя [3]. Необходимо при этом, разумеется, учитывать, что некоторые элементы частично находятся в твердом растворе (в феррите или аустените).

Наивысшую производительность режущий инструмент из быстрорежущей стали получает только после правильной термической обработки, заключающейся, как показал еще Тейлор, в закалке с температуры, близкой к температуре плавления стали, и в последующем отпуске.

В быстрорежущей стали аустенитное зерно при нагреве растет медленно, и поэтому высокий нагрев, необходимый для перевода в твердый раствор вторичных карбидов, ее не портит, как он испортил бы обычную за-

эвтектоидную сталь. Это объясняется наличием в структуре сплава большого количества карбидов, задерживающих чисто механически рост аустенитного зерна. Но при длительном нагреве с этим явлением приходится считаться, и для замедления роста зерна некоторые авторы рекомендуют присаживать к стали никель, о влиянии которого на режущие свойства быстрорежущей стали, однако, имеются противоречивые мнения. Вместе с тем высокий нагрев является, несмотря на легкость его осуществления, неприятным обстоятельством, а иногда и довольно значительным препятствием для многих заводов. Особенно это обнаружилось во время войны, когда эвакуированным предприятиям, имевшим хорошую термическую базу на месте их прежней работы, пришлось, не имея соответствующего оборудования, строить на новых местах термические цехи.

Простое дело—закалка резца из обычной быстрорежущей стали (РФ-1 или подобной) становится сложной операцией при употреблении малолегированной быстрорежущей стали (хотя бы ЭИ-184), когда ошибка при нагреве на десять градусов грозит неминуемым закалочным браком.

Для наилучшего использования быстрорежущего инструмента его, после правильной закалки, необходимо отпустить. Отпуск—операция менее сложная по сравнению с закалкой. Температура отпуска колеблется около 550°. При такой низкой температуре не сталкиваются с обезуглероживанием режущей кромки, с ростом зерна, с возникновением чрезмерных внутренних напряжений во время нагрева. Аппаратура здесь проще. Но все же для получения хороших результатов необходим двух, а то и трехкратный отпуск.

2. Твердые и сверхтвердые сплавы

К необходимости закалки и отпуска быстрорежущей стали все так привыкли, что естественность такой термической обработки как-то даже делает странным вопрос о принципиальной ее необходимости при изготовлении режущего инструмента. Однако избавление от термической обработки безусловно упростит и удешевит изготовление резцов.

Одним из преимуществ инструмента с режущей частью из твердых (типа „стеллит“) и сверхтвердых (типа „победит“) сплавов является как раз ненужность для них отжига, закалки и отпуска.

Если в резце из быстрорежущей стали „носителями“ способности резать являются мартенситовая основа и вкрапленные в нее карбиды, то в стеллитах и сверхтвердых сплавах режут главным образом карбиды, окруженные сравнительно мягкой связующей массой. Поэтому в стеллитах карбидов значительно больше, чем в быстрорежущей стали. Особенно сильно исключительная роль карбидов в процессе резания выявляется в сверхтвердых сплавах типа „победит“, в которых металлическая масса, связывающая карбиды, совершенно не может резать вследствие мягкости.

Благодаря возросшему по сравнению с быстрорежущей сталью количеству карбидов в режущих твердых сплавах, их хрупкость против быстрорежущей стали значительно больше, но зато они не нуждаются в закалке и отпуске.

Режущая часть инструмента из твердого сплава изготавливается отливкой, а окончательная геометрическая форма лезвию придается исключительно шлифовкой на наждачном круге, так как вследствие хрупкости ковать сплав невозможно, а ввиду значительной твердости нельзя обрабатывать обычным режущим инструментом.

Хрупкость резцов из сплавов типа „стеллит“, конечно, неприятна, но, по видимому, не является большим препятствием при их эксплуатации. Заводы, изготавливающие стеллиты, все-таки уделяют в своих проспектах большое внимание хрупкости этих сплавов. Перед войной большим рас-

пространением пользовался немецкий сплав „акрит“. В его составе имеется кобальт (около 38%), хром (около 30%), вольфрам (16%), молибден (4%), углерод (около 2%), затем железо и неизбежные примеси [4]. В брошюре, посвященной акриту [5], говорится: „Акрит—литой сплав и поэтому обладает известной хрупкостью, но в значительно меньшей степени, чем другие такие металлы, хрупкие даже при самом тщательном обращении“.

Подобные сплавы не свободны от пузырей, и иногда каждый кусок стеллита хорошей марки просвечивается, как правило, для контроля рентгеновыми лучами.

Стеллиты много дороже быстрорежущей стали.

К стеллитам надо отнести сплавы, предложенные Конторовым [6]. В них основным легирующим элементом является хром, содержание которого меняется от 16 до 24%, молибден и ванадий (от 6 до 8% каждого элемента).

Скорость резания резцами из стеллитов лишь немного больше по сравнению с резцами из хорошей быстрорежущей стали. Твердость стеллитов мало отличается от твердости правильно термически обработанной быстрорежущей стали.

3. Возможное использование отходов быстрорежущей стали

Быстрорежущая сталь доставляется потребителю—инструментальному цеху машиностроительного завода—в виде проката (прутков различного профиля) или в виде кованных заготовок. Форма инструменту придается преимущественно снятием стружки. Реже инструментальный цех кует полученный прокат, так как ковка быстрорежущей стали без хорошо поставленного термического контроля дает значительный процент брака.

При производстве инструмента до 50% стали уходит в малоценный отход—стружку. Правда, стружку быстрорежущей стали можно переплавлять, но для этого необходимо некоторое оборудование, и делать это на механическом заводе несколько затруднительно, тем более, что полученные после переплавки стружки слитки надо ковать или прокатывать на профиль или заготовку. А это значит, что в системе инструментального цеха надо организовать сталелитейный и прокатный цехи, цех для термической обработки проката и т. д. Можно, разумеется, отправлять стружку на специальные заводы качественной стали, но это сопряжено с перевозками сравнительно малоценного груза.

Значительно рациональнее производить инструмент отливкой или штамповкой, сведя до минимума обработку резанием. При этом можно было бы использовать стружку на месте, наплавляя ее на режущие части вольтовой дугой или ацетилено-кислородным пламенем.

Обычно считают, что для получения быстрорежущей стали, обладающей хорошими режущими свойствами, ее необходимо обязательно ковать или прокатывать. Не так давно многие металлурги полагали, что ковка придает инструментальной стали наиболее благоприятную структуру. Но есть некоторые основания полагать, что правильно проведенная прокатка дает металл не хуже ковального.

Ковка или прокатка слитка быстрорежущей стали считается необходимой для раздробления кристаллов первичных карбидов.

Роль структурно-свободных карбидов, не входящих в эвтектоид, вполне определена и одинакова в обычной углеродистой, малолегированной и быстрорежущей сталях, когда мы рассматриваем сделанный из той или иной стали резец. Карбиды, распределяясь более или менее равномерно в виде возможно более мелких зерен в структуре готового режущего инструмента, должны придать дополнительную твердость основной метал-

лической массе структуры (троститу или мартенситу). Но вместе с тем они не должны снижать ударной вязкости режущей кромки. Это возможно лишь в том случае, если карбиды превращены ковкой (прокаткой) и последующим сфероидизирующим отжигом в мелкие, округлые, без острых углов зёрна, равномерно рассеянные в основной структуре закаленной и отпущенной стали.

В случае обычной углеродистой заэвтектоидной стали такой основной структурой будет тростит. В углеродистой стали зернистую форму структурно-свободному (вторичному) цементиту можно придать безковки чисто термическим путем—закалкой и высоким отпуском. Подобная операция хлопотлива, и ее применяют редко, лишь в исключительных случаях, предпочитая раздроблять цементит механически, прокаткой ниже линии SE на диаграмме железо-углерод. После прокатки (ковки) следует отжиг, снимающий напряжения отковки, если они возникли, и придающий окончательную зернистую форму обломкам кристаллов цементита, полученным в результате пластической деформации.

В сталях с содержанием углерода, лишь немного превышающим эвтектоидное (например, в стали У 10), когда карбидная сетка вследствие малого количества цементита прерывиста, можно и безковки, только одним отжигом иногда получить зернистый цементит. Но так как изготовление профиля небольшого сечения требует неременной прокатки (иликовки) слитка, то пластическая деформация стали будет всегда налицо и обязательно войдет в технологический процесс производства прутков стали с зернистым заэвтектоидным цементитом.

Во всех быстрорежущих сталях всегда имеются первичные, выделившиеся из жидкой фазы, ледебуритные карбиды. Эти карбиды, как известно, не могут переходить в твердый раствор и растворяются только в жидкой фазе, из которой они выделились при кристаллизации стали. Поэтому существует утверждение, что на их структуру ни в какой мере не действует термическая обработка, и они сохраняют свою структуру неизменной и после отжига и после закалки с последующим отпуском. Поэтому существует лишь единственный путь превращения их в зерна—пластическая деформация стали (ковка или прокатка).

Это и справедливо и—нет. Растворение кристалла карбида в аустените—явление поверхностное, и от развития поверхности кристалла по отношению к его объему будет зависеть скорость растворения. Крупнозернистый округлый кристаллит вторичного карбида может еще не раствориться в аустените, когда разветвленный, скелетообразный, напоминающий тонкое кружево, ледебуритный карбид с более благоприятным соотношением величины внешней поверхности к его объему уже перешел в твердый раствор и обогнал, таким образом, зерно вторичного карбида. Но такие мелкие ледебуритные кристаллы карбида выделяются лишь при быстром охлаждении кристаллизующейся расплава и в слитках обычных размеров (100—1000 кг), понятно, не образуются. Крупные первичные карбиды необходимо дробить механически (ковкой, прокаткой) с последующим отжигом—сфероидизацией.

Принято считать, что кристаллизация металлического расплава подчиняется законам Таммана, т. е. величина выделяющихся кристаллов и их форма зависят от числа центров кристаллизации в единице объема жидкости и линейной скорости кристаллизации. Число центров и скорость роста кристаллов в свою очередь являются функцией степени переохлаждения. На степень переохлаждения значительное влияние оказывают скорость охлаждения расплава, его химическая природа, степень загрязненности взвешенными частицами (и их дисперсностью), и даже материал и радиус кривизны стенок сосуда, так как в первый момент кристаллиза-

ции центры кристаллизации возникают именно у холодной стенки, соприкасающейся с жидким металлом.

Нельзя также забывать о возможности присутствия в расплаве частиц, играющих роль центров кристаллизации. Они могут быть введены искусственно или образоваться в результате прошедших химических реакций, например, реакция раскисления и окисления. Получающиеся в стали при раскислении ее алюминием кристаллы окиси алюминия при подходящей дисперсности их являются принудительными центрами кристаллизации для кристаллов твердого раствора углерода в железе.

Затронутые вопросы за последнее время довольно успешно изучались в разрезе кристаллизации обычной углеродистой стали. Нет больших сомнений в возможности переноса основных выводов и на сплавы типа быстрорежущих сталей.

Прежде всего, несомненно влияние размеров слитка на величину кристаллов первичных карбидов. Масса жидкого сплава обусловит ту или иную скорость охлаждения. В малом слитке ледебуритные карбиды будут выделяться из большого числа центров кристаллизации.

К сожалению, нет достаточных практических данных о природе тел, которые могут являться искусственными (принудительными) центрами кристаллизации для кристаллов карбидов и аустенита быстрорежущих сталей. Безусловно, такие вещества существуют и введение их в расплав заменит самопроизвольную (спонтанную) кристаллизацию принудительной.

Высказанные соображения, очевидно, приводят к признанию принципиальной возможности изготовления литого режущего инструмента из инструментальных сталей.

Как было уже упомянуто, вес изготовленного обработкой на станках путем снятия стружки режущего инструмента составляет в среднем 50—60% от веса кованой заготовки или заготовки из прутка. Применить горячую штамповку для изготовления инструмента не всегда возможно, хотя там, где это удастся сделать, получается значительная экономия металла, как, например, при производстве спиральных сверл способом штамповки-завивки. Более значительный ассортимент режущего инструмента можно получить отливкой.

4. Литой инструмент

Вопрос о литом инструменте имеет свою историю.

В Сибирском институте металлов [7] А. Н. Добровидов и К. А. Бессонов провели исследование по изготовлению литьем инструмента из углеродистых сталей с содержанием 1,0—1,5% углерода. Отливка производилась в чугунные и сухие глиняные формы. Применялась также центробежная отливка на специально сконструированной машине. Сталь раскислялась марганцем и алюминием. Наибольший вес отливки доходил до 2,5 кг. Величину аустенитного зерна отливки можно было изменять в процессе раскисления алюминием, меняя его количество, но цементит в отливке всегда выделялся в смешанной форме, образуя сетку по границам аустенитных кристаллов и в виде игл, расположенных внутри перлитных зерен, возникших на месте кристаллитов аустенита. Такая структура была весьма хрупка, и образцы из стали ломались без заметной пластической деформации.

Отлитый инструмент термически обрабатывался. Сначала он закаливался с 1050° в масле, отпускался предварительно при 650° и затем отжигался при 720°. После термообработки цементит имел вид мелких зерен, равномерно разбросанных в зернистом перлите.

Режущие свойства резцов, изготовленных отливкой, ничем не отличались от резцов из обычной первоклассной прутковой стали.

Изготовленные центробежной отливкой фрезы показали также хорошие результаты.

Значительно важнее изготовление литого инструмента из быстрорежущей стали.

Дицем [8] было предложено, вокруг державки из поделочной стали отливать режущие части из легированной стали. Форма для отливки изготовлялась из глины и перед заливкой подогревалась вместе со стержнем-державкой. Литой инструмент отжигался, обрабатывался механически, закаливался и доводился до окончательных размеров шлифовкой. Диц полагает, что его способ экономичен при отливке инструмента диаметром более 40 мм, и утверждает, что по производительности инструмент не уступает обычному.

Хорвиц [9] приводит данные о литом инструменте из стали, близкой по составу к обычной быстрорежущей типа РФ-1. По его данным производительность литого инструмента почти такая же, как и ковального.

Френч [8] получил при резании литым инструментом из стали, близкой по составу к РФ-1, значительно более худшие результаты.

Большая работа с литыми резцами из быстрорежущих сталей весьма разнообразного состава была проведена Эртелем и Пельцгутером [8]. Они исследовали пятнадцать марок стали, пытаясь выяснить влияние кобальта и ванадия на молибденовые и вольфрамовые стали. Восемь молибденовых сталей содержали 5% молибдена; к трем из них добавлялся кобальт от 3 до 9%. Четыре стали содержали кроме 5% молибдена еще 9% кобальта и в них вводилось переменное количество ванадия (от 0,8 до 2,6%). Остальные семь сталей были вольфрамовые с постоянным содержанием этого элемента (11%); к ним присаживался кобальт (3—8%), а к двум кроме того и ванадий (1,3 и 1,5 %). Марки сталей не подходили к стандартным, и выводы авторов, представляя некоторый теоретический интерес, мало что дают для практики.

Несмотря на большое число (десятки) работ по литому инструменту, его изготовление в довоенное время в больших заводских масштабах поставлено не было. Рапатц [10] пишет, что „опыты получения литых инструментов из быстрорежущей стали, поставленные за последние годы в США, остались безрезультатными“. Он видит объяснение этому в неравномерности структуры стали в литом состоянии, что обуславливает низкие качества литых инструментов, преимущественно их хрупкость.

Нам кажется, что дело не только в плохой структуре. Изготовление фасонных отливок из обычной углеродистой стали, как известно, экономически выгодно лишь в случае отливок не очень малого веса. Отливки малого веса (сотни граммов) тем дороже, чем они меньше. Их дороговизна зависит от трудности отливки (формовки и собственно разливки). Этим объясняется, что ковкий чугун—материал менее прочный, чем сталь, не заменяется сталью при изготовлении мелких отливок. Безусловно, трудность разливки малыми порциями не уменьшается при переходе к быстрорежущей стали, а возрастает. В этом главное препятствие к широкому применению литья для производства режущего инструмента.

Не так давно появилась работа Ревис и Лебедева [11] по литому инструменту из быстрорежущей стали. Авторы предложили следующий технологический процесс. Для получения в отливке мелкозернистых первичных карбидов следует избегать при конструировании инструмента и литейной формы для него больших масс металла, так как это даст замедленное охлаждение отливки вместо необходимого быстрого. Желателен перегрев расплавленной стали для возможно более полной ликвидации находящихся в расплаве кристалликов нерастворившихся карбидов. Эти кристаллы при затвердевании отливки могут дать прикрупитель-

ные центры кристаллизации и сделать структуру грубой. Рекомендуемая из этих соображений температура перегрева стали находится около 1550° . Перед отливкой необходимо сплав подстудить до 1450° . Авторы вскользь упоминают о возможности модифицирования сплава.

После обычного отжига, закалки и двукратного отпуска литой инструмент из стали РФ-1 имеет твердость по Роквеллу 62—64 и не уступает в работе по производительности ковальному.

Опытные экземпляры этого инструмента были диаметром 40—50 мм.

Нам кажется, что рассчитывать на широкое распространение литого описанными способами инструмента едва ли есть серьезные основания. Кроме сказанного выше необходимо добавить, что вряд ли возможно изготовлять инструмент большого размера из-за неблагоприятных условий кристаллизации. Затруднительно отливать резцы, т. к. вес режущей части этого инструмента мал, не превосходит 20—30 г. Необходимая для плавки стали аппаратура дорога. При переплавке стружки и отходов (поломанного инструмента) требуется раскисление, т. е. необходима работа опытного сталевара. Во всяком случае процесс можно провести только на хорошо оборудованном предприятии.

5. Наплавка режущего инструмента

Попытка обойтись без сложных агрегатов для плавки стали привела к изобретению способов изготовления литых инструментов методами газовой и электродуговой наплавки режущих частей. В этом случае плавление быстрорежущей стали происходит на месте образования режущей кромки инструмента; дном, а иногда—в зависимости от формы инструмента—и стенками тигля (и одновременно изложницы) служит корпус (державка) инструмента, изготовленный из поделочной стали. Объем расплавленного металла соответствует в данном случае объему режущей части и будет значительно меньше, чем при изготовлении литого инструмента отливкой из стали, расплавленной в печи. Вследствие малых размеров литое лезвие будет охлаждаться быстро, что благоприятно отразится на величине и форме первичных карбидов. Скорость охлаждения увеличится также за счет быстрого распространения тепла по державке, которая будет сильно нагрета только в месте соприкосновения с расплавленным металлом. Расход стали по сравнению с расходом на обычный литой инструмент будет меньше.

В советской литературе был предложен за последние годы ряд способов наплавки режущего инструмента. Все эти способы можно разбить на две группы. К первой относится наплавка газовым пламенем [12]; ко второй—наплавка вольтовой дугой с металлическим электродом.

Наплавка ацетилено-кислородной горелкой должна производиться слабо восстановительным пламенем, не изменяющим химического состава быстрорежущей стали, которая присаживается обычно в виде прутка. При тщательной работе можно получить хороший провар и плотную наплавку.

Но вследствие особенностей газовой сварки державка прогревается очень сильно, и это неблагоприятно отзывается на кристаллизации карбидов.

После наплавки инструмент требует обычных для быстрорежущей стали закалки и отпуска. Иногда рекомендуют замедленное охлаждение инструмента после наплавки в отжигательной печи или теплоизолирующем материале и обычный отжиг. В результате получается хороший инструмент.

Одним из существенных недостатков этого способа изготовления литого инструмента, кроме вышеупомянутых, является дефицитность кислорода и ацетилена.

Имеются также способы наплавки инструмента атомно-водородной горелкой и электрической дугой по способу Славянова (дуга горит между электродом из быстрорежущей стали и корпусом инструмента).

Первый способ хорош при сварке малоуглеродистых сталей. При сварке высокоуглеродистых сталей идет обезуглероживание вследствие взаимодействия водорода с углеродом стали. Для компенсации выгорания углерода в сварочный фокус приходится вводить высокоуглеродистые сплавы, что сильно усложняет весь процесс. В настоящее время эта сварка относится к разряду малодоступных для большого числа заводов.

Наплавка по методу Славянова требует изготовления электродов из быстрорежущей стали или применения легирующей обмазки для электродов из обычной сварочной проволоки, что чрезвычайно усложняет процесс и требует введения в обмазку дефицитных ферросплавов и материалов.

Впервые предложили применять электроды из быстрорежущей стали для наплавки резцов К. А. Бессонов и В. А. Вагин [13] в 1937 г. Аналогичное предложение затем было сделано Геллер и Новиковой [3] (1941 г.). Авторы рекомендуют ковать электроды из обломков инструмента (сверла, метчики и т. п.) и применять специальные обмазки для защиты расплавленной стали от выгорания легирующих элементов.

Судя по литературным данным получают вполне удовлетворительные резцы с режущей кромкой, наплавленной такими электродами. Слабым местом этого метода является необходимость изготовления из кусков быстрорежущей стали электродов диаметром 4—6 мм. Это—дорогая и хлопотливая операция.

Ни один из предложенных до сих пор способов не дает возможности использовать такой распространенный и малоценный отход, как токарная, фрезерная и подобная стружка, а также мелкие обломки быстрорежущей стали. Поэтому авторы настоящей работы приступили к разработке способа изготовления инструмента из таких малоценных отходов, имеющих на всех машиностроительных заводах, путем наплавки режущих кромок методом Бенардоса.

Бенардос предложил воспользоваться для плавления присадочного металла, образующего шов, теплом вольтовой дуги, возникающей между угольным электродом и свариваемой деталью в месте будущего шва. Сварка угольным электродом—старейшая разновидность электродуговой сварки, но в обычных случаях она почти полностью вытеснена сваркой металлическим электродом.

Почти всегда при сварке угольным электродом применяют постоянный ток при нормальной полярности—минус на электроде. Дуга прямой полярности длиной более 4 мм не науглероживает сталь шва. При обратной полярности идет интенсивное науглероживание; обратная полярность при обычных сварочных работах не находит применения.

Дуга прямой полярности устойчива, не затухает даже при длине около 50 мм, и ей легко может пользоваться даже неопытный сварщик. Угольная дуга весьма устойчива и на переменном токе.

Как уже было упомянуто, при изготовлении литого инструмента приходится считаться в первую очередь с характером кристаллизации отливки небольшого размера. При наплавке резцов по способу авторов настоящей работы угольной электрической дугой отливка весит всего несколько десятков граммов, что благоприятно сказывается на структуре наплавленного слоя.

Кристаллизация, как показывают изломы и макрошлифы наплавленного металла, идет в первую очередь на поверхности соприкосновения расплавленного металла с державкой, а затем уже в месте соприкосновения с боковыми стенками формовки и сверху, где на поверхности расплава находится слой жидкого шлака.

Кристаллизация имеет характер столбчатый, но ввиду шероховатой поверхности формовки и сделавшейся неровной вследствие оплавления поверхности гнезда, выбранного в резцовой державке, параллельность осей столбчатых кристаллов выражена весьма слабо, а мелкозернистость излома настолько значительна, что мало чем отличается от излома прутковой быстрорежущей стали. Мелкозернистостью структуры можно объяснить, что очень часто совершенно не обнаруживается транскристаллизация как на изломе, так и на протравленном макрошлифе.

Некоторые авторы [12], [13] рекомендуют немедленно после наплавки, пока сталь достаточно горяча, наплавку проковать.

Проковка является лишней операцией при изготовлении резцов, но ее рекомендуют проводить, так как существует мнение, что хорошие режущие свойства быстрорежущая сталь приобретает лишь после прокатки (ковки), и чем сильнее при этом формоизменение слитка, тем более качественной получается сталь. В процессе пластической деформации металла, как мы указывали, происходит раздробление первичных карбидов, разрушение ледебуритной кристаллизации.

Так, Хабахпашев считает, что при прокатке слитка быстрорежущей стали необходимо 5—6 кратное обжатие. Шейнин рекомендует обжатие в $3\frac{1}{2}$ раза, Криц говорит о необходимости десятикратного уменьшения сечения слитка [14]. Хохаге и Роллет пришли к заключению, что для полного разрушения ледебуритной сетки необходимо поперечное сечение уменьшать в 12,5 раза. Эндрью избавился от ледебуритной сетки, доведя при прокатке слиток сечением 150×150 мм до сечения 55×55 мм, что соответствует уменьшению сечения в 7,5 раз. [15]

Чижигов [15] исследовал, какое обжатие слитка следует считать минимальным. Слиток быстрорежущей стали диаметром 210 мм был прокован по схеме рис. 1. Из различных мест поковки, как это показано на

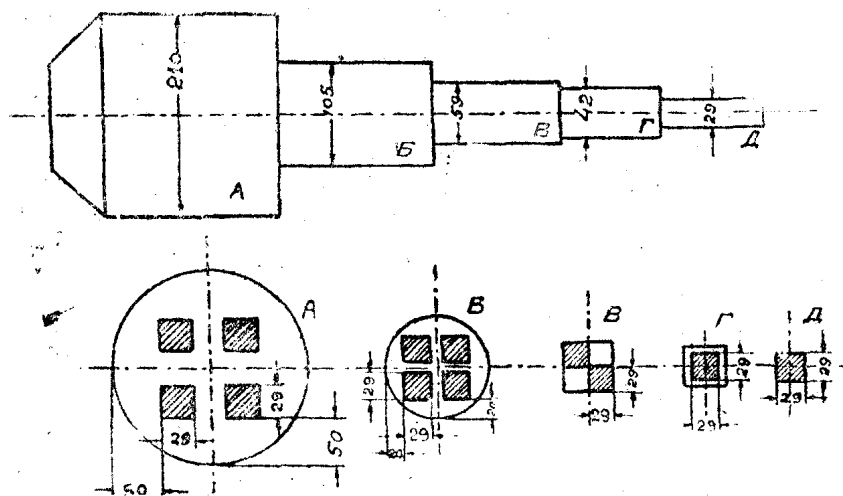


Рис. 1

чертеже, вырезались образцы квадратного сечения (29×29 мм) и длиной 250 мм. Из образцов изготавливались токарные резцы, которые были совершенно одинаково термически обработаны. Твердость резцов после термообработки колебалась в пределах 65—68 единиц Роквелла.

Резцы испытывались на обдирке хромоникелевой стали с временным сопротивлением 100 кг/мм^2 при скорости резания 14 м/мин. Подача равнялась 4 мм, глубина резания 5 мм.

Результаты опытов представлены в табл. 1.

Рассматривая табл. 1, приходим к заключению, что ковка с 52 кратной уковкой увеличила среднюю стойкость резцов на 50%, а стойкость еди-

Таблица 1

Размер сечения, из которого изготовлены резцы	Степень уковки	Продолжительность резания до затупления резца в минутах и секундах	
		Средняя для четырех резцов	Максимальная для одного резца
Исходное сечение	Не кована.	8—05	10—05
Диаметр 210 мм	Литая сталь		
Диаметр 105 мм	4-кратная	8—25	12—10
Квадрат 59 × 59 мм	12-кратная	8—45	14—05
Квадрат 42 × 42 мм	25-кратная	8—32	12—05
Квадрат 29 × 29 мм	52-кратная	12—30	18—15

ничного резца (наилучшего) на 80%. Ковка с 25-кратным уменьшением сечения по средним данным не улучшила режущих качеств стали совершенно. Наилучший, (из четырех), резец дал повышение стойкости всего на 20%. Но это значение стойкости (12 мин., 5 сек), повидимому, не типично для металла с данной степенью уковки, так как резец из места с 12-кратной уковкой дал лучшие результаты.

Повышение стойкости резца (по времени) на 50% соответствует увеличению скорости резания всего примерно на 5%.

Таким образом, опыты Чижикова показывают весьма ясно, что ковка даже крупных слитков быстрорежущей стали со значительной уковкой очень мало влияет на повышение скорости резания токарных резцов. Необходимо отметить, что слиток был взят не очень малого развеса. Безусловно в структуре его имелись крупные ледебуритные карбиды.

На основании изложенного мы пришли к заключению, что проковывать наплавки, представляющие собой слитки весьма малых размеров, нет никакого смысла. Максимально возможное обжатие, которое можно дать наплавке, не превысит в лучшем случае двадцати процентов, а поэтому не повлияет на структуру и режущие свойства инструмента.

Ковка может быть полезна тем, что, изменив форму наплавки, застывающей всегда с закругленными кромками вместо прямых углов, облегчит последующую механическую обработку граней, снизив несколько расход абразивов.

Исходя из этих соображений, мы придавливаем сверху жидкую, еще не начавшую кристаллизоваться, наплавку плоским куском металла (чугун, медь и т. п.). В результате такого придавливания металл начинает сверху весьма быстро остывать, что благоприятно отражается на величине растущих в нем кристаллов, а закругленные углы наплавки превращаются в острые.

Быстрорежущая сталь менее теплопроводна по сравнению с обычной углеродистой. Поэтому при остывании в ней легче возникают внутренние напряжения. Их появлению также способствуют проходящие в стали фазовые превращения, сопровождающиеся изменением объема. Особенно значительные напряжения должны появляться в месте сплавления легированной стали с подложной сталью державки. Поэтому сварной инструмент рекомендуют после сварки медленно охлаждать и затем отжигать для облегчения последующей механической обработки резанием и более полного снятия внутренних напряжений.

Но с другой стороны существуют следующие схемы охлаждения слитков быстрорежущей стали после разливки [14]. После того как убедятся, что слиток затвердел, его раздевают и охлаждают на воздухе. По другой схеме слиток раздевают при 700° и также охлаждают на воздухе. В данном случае как будто нет боязни образования внутренних напряжений.

Медленное охлаждение наплавленного резца не улучшит структуры наплавки, но введет дополнительную операцию—вызовет необходимость закалки. Стремясь дать наиболее простой способ изготовления резцов с наплавленным лезвием из быстрорежущей стали, мы после ряда опытов убедились, что после наплавки резцы можно охлаждать в спокойном воздухе и даже в струе воздуха.

Охлаждение в струе воздуха дает такую же закалку, как охлаждение в спокойном воздухе и особых преимуществ не представляет. В обоих случаях не появляются трещины ни в самой наплавке, ни в месте ее сплавления с сталью державки.

6. Некоторые соображения об электродуговой наплавке

Таким образом был выработан тот процесс наплавки резцов, который в дальнейшем описывается более подробно: наплавка слоя из расплавленной быстрорежущей стали (стружка, обломки инструмента) на резцовую державку, охлаждение на воздухе, отпуск и заточка.

Так как карбидообразующие элементы быстрорежущей стали характеризуются до некоторой степени взаимозаменяемостью, то явилась возможность получить за последние годы ряд сталей-заменителей. Нет сомнений, что подобные малолегированные быстрорежущие стали будут появляться и в дальнейшем.

Можно высказать некоторые соображения о их предположительном составе. Сталь Р содержит 0,66—78% углерода, 17,0—18,5% вольфрама, 0,5—0,8% ванадия и 3,8—4,6% хрома. Сталь ЭИ-262 (РФ 2) имеет такой состав: 0,71—0,77% углерода, 11,8—12,8% вольфрама, 2,3—2,6% ванадия.

Заводской опыт показывает, что инструмент из стали Р одинаков примерно по своим режущим свойствам с инструментом из ЭИ 262. Инструмент из последней стали обладает в некоторых случаях даже большей стойкостью.

Можно сделать вполне обоснованное предположение, что 6—7% вольфрама, которого недостает в стали ЭИ 262 по сравнению со сталью Р, заменены 1,8—2,0% ванадия, и такая замена совершенно не отразилась на режущих свойствах стали.

Вполне возможно, очевидно, получить ряд промежуточных сталей между ЭИ-262 и Р. Эти промежуточные стали должны обладать одинаковыми режущими свойствами. Переход от одной из этих сталей к другой возможно осуществить, уменьшая содержание ванадия в стали и увеличивая одновременно содержание вольфрама. Один процент ванадия соответствует при такой замене примерно трем процентам вольфрама.

Это означает, что, применяя для наплавки резцов смеси стружки сталей ЭИ 262 и Р, можно получить полноценный быстрорежущий резец.

Лучше брать сталь РФ-1 вместо Р, так как при электродуговой наплавке окисляется в первую очередь ванадий, и повышенное содержание этого элемента в РФ-1 компенсирует до некоторой степени выгорание.

Из малолегированных быстрорежущих сталей хорошо себя зарекомендовала марка ЭИ-184. Ее состав: вольфрама 3,5—5,0%; хрома 7—9%; ванадия 1,1—1,3% и углерода 0,8—1,0%. Режущие свойства этого заменителя почти одинаковы с быстрорежущей сталью Р.

Рассуждая, как в предыдущем случае, можно предполагать, что 13—14% вольфрама здесь заменены 2—4% хрома и 0,5—0,8% ванадия. Поэтому можно попытаться использовать для наплавки резцов смеси сталей РФ-1 и ЭИ-184. Учитывая неизбежную потерю ванадия, можно думать, что наиболее хорошие наплавки получатся с значительным содержанием отходов РФ-1.

Если под рукой имеется феррованадий, то проще всего прибавлять его в шихту и тем компенсировать угар.

Более сильным по сравнению с ванадием раскислителем будет алюминий.

Присаживать алюминий, как показал опыт, очень удобно в виде опилок, примешивая их к флюсу при электродуговой наплавке режущих граней. Добавлять алюминий надо с таким расчетом, чтобы он, защищая расплавленную наплавку от окисления, не легировал бы переплавляемую сталь. Одна-две десятых процента алюминия безвредны для быстрорежущей стали. Более значительное содержание придает инструменту хрупкость.

При изготовлении резцов способом наплавки угольным электродом очень легко легировать переплавляемые отходы быстрорежущей стали. В военное время возможность легирования в большинстве случаев упирается в недостаток легирующих присадок. Но можно перспективно предположить, что затраты на легирование окупятся повышением стойкости инструмента.

К числу присадок, безусловно улучшающих качество инструмента, следует отнести кобальт. Быстрорежущие стали содержат кобальта от 5 до 15%. Чем больше (в этих пределах) содержание кобальта, тем выше стойкость инструмента.

Присадка кобальта при электродуговой наплавке хороша тем, что кобальт окисляется слабо, и вводить его в шихту (переплавляемую стружку) можно без прибавки на угар.

Есть указания на удачные опыты легирования быстрорежущей стали азотом. [21].

Азот стабилизирует аустенит и на диаграмме состояния расширяет γ-область. Обычно при литье высокохромистых сталей азот вводят в виде феррохрома, содержащего около 2% азота. Можно присаживать азот в виде азотистого алюминия (AlN). Можно также присаживать азот, прибавляя к шихте азотированную стружку быстрорежущей стали. Стружку нитрируют в аммиаке при температуре 560°. Азотирование стружки можно произвести также в расплавленной красной кровяной соли или в любой ванне для низкотемпературного цианирования стали. Такая ванна работает при температуре 530—560° и практически лишь азотирует, но не науглероживает сталь, как это утверждают некоторые исследователи [16].

В быстрорежущей стали, как и в других сталях, аустенитное зерно под влиянием азота растет медленнее.

Относительно влияния никеля на режущие свойства быстрорежущей стали имеются очень неполные данные. В одной из работ [17] указывается на его положительное влияние.

Стеллиты заграничного происхождения содержат значительные количества кобальта, и лишь в советских стеллитах („смена“) кобальт с успехом заменен никелем.

В сверхтвердых сплавах карбиды связаны также кобальтом („победит“, „карболой“). Можно ожидать, что никель в некоторых комбинациях с основными легирующими элементами быстрорежущей стали может дать повышение режущих свойств стали. Следует изучить его влияние применительно к литым резцам.

Известно, что молибденом возможно заменить часть вольфрама в быстрорежущей стали, не снижая ее режущих свойств. Повидимому, замещение вольфрама молибденом происходит в отношении пяти к двум, то есть пять процентов вольфрама равноценны двум процентам молибдена [18]. Но и к обычной быстрорежущей стали (с 18% вольфрама) прибавляют иногда от 0,5 до 2,5% молибдена.

Молибден положительно влияет на режущие свойства стали, но молибденовая сталь при термической обработке легко обезуглероживается

с поверхности, а также теряет часть молибдена в виде летучего при сравнительно невысоких температурах окисла.

Последнее обстоятельство, именно в случае наплавленных угольным электродом резцов, особого значения не имеет, так как инструмент можно совершенно не закаливать.

Молибден не выгорает в жидкой стали, потому что жидкое железо в случае сплава с небольшим содержанием молибдена окисляется легче этого элемента.

Необходимо упомянуть еще об одном легирующем элементе—боре.

Незначительные добавки бора вызывают измельчение зерна стали вследствие того, что образующиеся бориды являются центрами кристаллизации [19].

При изготовлении резцов по нашему способу не исключена возможность перехода некоторого количества бора из флюса, содержащего буру.

Обычно карбид бора (B_4C) образуется при нагревании окиси бора с углем в дуговой электрической печи [20]. При плавке резцов подобный процесс может как раз идти, и в расплавленную сталь могут переходить небольшие количества карбида бора.

Необходимо иметь в виду, что быстрорежущая сталь является весьма сложным сплавом. Поведение отдельных легирующих элементов не всегда бывает вполне ясным. Теоретически предсказать, по каким путям пойдет ее дальнейшее развитие, можно лишь приблизительно. Углубленное изучение влияния различных легирующих добавок, безусловно, приведет к получению сплавов с более высокими режущими свойствами.

Именно при электродуговой наплавке резцов быстрорежущей сталью возможности легирования чрезвычайно велики, а процесс присадки различных элементов особенно прост при пользовании угольной дугой.

При наплавке угольной дугой переменного тока происходит некоторое науглероживание переплавляемой стали, и содержание углерода в металле наплавки может возрасти.

Гуляев [24] считает, что в современной быстрорежущей стали содержание углерода может быть несколько увеличено. Некоторое науглероживание наплавки не снижает режущих свойств инструмента.

Повышенное содержание углерода увеличивает устойчивость аустенита, а поэтому, если для наплавленных по нашему способу резцов не требуется закалка, то отпуск необходим. Лучшие результаты дает двух и трехкратный отпуск.

Описываемый способ изготовления резцов из отходов быстрорежущей стали очень прост. Легирование и раскисление весьма несложно; легирующие присадки можно вводить в переплавляемую шихту (стружку или обломки), а раскислитель (алюминий) во флюс. Наплавленный резец не требует закалки; ему необходим лишь отпуск.

Как было сказано, существует мнение, и оно подтверждается опытом, что отжиг не влияет на структуру первичных карбидов быстрорежущей стали. Но это справедливо лишь в том случае, когда сталь отлита в крупные слитки, и кристаллы ледебуритных карбидов велики.

Чем меньше отливка, тем мельче карбиды. У мелких кристаллов сильно развитая поверхность очень велика по сравнению с их объемом. При отжиге такие карбиды должны принимать компактную, зернистую форму.

Даже при невысокой температуре обычного отжига ($850-900^\circ$) происходит сфероидизация первичных карбидов в электродуговых наплавках резцов. Это значительно повышает ударную вязкость стали.

Если в отжиге сфероидизации нет надобности при изготовлении по способу авторов проходных и подрезных резцов, то такой отжиг должен значительно повышать качество отрезных резцов, работающих в более тяжелых, чем проходные резцы, условиях.

Из всего изложенного можно сделать некоторые выводы, касающиеся частного случая изготовления литого режущего инструмента различными способами электродуговой наплавки:

а) благодаря малой массе расплавленной быстрорежущей стали, кристаллизующейся в месте образования режущих граней, возникает структура, обладающая очень хорошими режущими свойствами. Первичные карбиды в такой структуре выделяются в виде мелкозернистых включений. Карбиды можно попытаться еще более измельчить путем подстуживания жидкой наплавки, что достигается надавливанием на нее сверху металлической плоскостью, которая, отбирая тепло при непосредственном соприкосновении, ускоряет охлаждение и вызывает возникновение добавочных центров кристаллизации в застывающей наплавке;

б) вследствие небольших размеров отливки и отсутствия при электродуговой наплавке сильного перегрева расплавленной стали, происходит хорошая закалка наплавленного резца при охлаждении его на воздухе;

в) наплавленная вольтовой дугой сталь имеет повышенное по сравнению с переплавляемой быстрорежущей сталью содержание углерода. Это обстоятельство, как известно, увеличивает термическую устойчивость аустенита, что требует многократного отпуска резца;

г) двух или трехкратный отпуск является единственной операцией термической обработки резцов, наплавленных по нашему способу;

д) для улучшения качества инструмента можно в широких размерах легировать наплавки;

е) обычный отжиг вызывает некоторую сфероидизацию первичных карбидов, что улучшает режущие свойства резцов.

ГЛАВА II

ТЕХНОЛОГИЯ НАПЛАВКИ РЕЗЦОВ БЫСТРОРЕЖУЩЕЙ СТАЛЬЮ

1. Общие положения

Как указывалось выше, наиболее простым, доступным для производства, не требующим дефицитных материалов, является электродуговой способ наплавки быстрорежущей стали угольным электродом. При этом способе не потребуется ни применения дефицитных карбида кальция и кислорода, как при применении ацетилено-кислородного пламени, ни изготовления электродов из быстрорежущей стали с сложной обмазкой. Работа с угольным электродом более проста, чем с металлическим, и требует более низкой квалификации сварщика. Электрический ток имеется на всех предприятиях, сварочные трансформаторы обычной конструкции или сварочные машины постоянного тока имеют в промышленности широкое распространение и могут быть использованы для работы по наплавке резцов. При горении вольтовой дуги между наплавленным металлом и угольным электродом получается высокая температура порядка 3800° , что дает очень мощную термоионную эмиссию с поверхности катодного пятна на угольном электроде, позволяющую получить плотность тока, достигающую до 1000 ампер на 1 см^2 [23]. При малой теплопроводности угольного электрода легко удается поддерживать высокую температуру катода, даже при малых силах тока порядка одного ампера, конечно, при соответствующем диаметре электрода. Это свойство „угольной дуги“ очень ценно для работ по наплавке и имеет место не только при работе на постоянном, но в очень значительной степени и на переменном токе.

Мы поставили себе задачу использовать для наплавки резцов как постоянный, так и переменный ток, учитывая, что, хотя при работе на постоянном токе дуга горит более спокойно, и работа на постоянном токе

поэтому более проста, но на производстве более широкое распространение имеют сварочные трансформаторы, нежели сварочные машины постоянного тока, и проведение наплавки на переменном токе для производства более доступно.

При разработке технологии наплавки необходимо было разрешить ряд вопросов, связанных с выбором материалов для формовки, предохраняющей жидкий наплавленный металл от стекания с тела инструмента, с выбором флюсов, с получением плотного беспористого наплавленного слоя, с возможностью применения для наплавки не только быстрорежущей стали, но и ее малолегированных заменителей, с выбором режима термической обработки наплавленных резцов и т. п.

Все эти вопросы были разрешены большим количеством опытов по наплавке.

Опыты показали, что проведение наплавки резцов одинаково осуществимо как на постоянном, так и на переменном токе, причем переменный ток может использоваться от любого сварочного трансформатора с реактором для регулировки тока.

При пользовании постоянным током угольный электрод следует соединять с отрицательным полюсом, а навариваемый инструмент с положительным, чтобы избежать интенсивного науглероживания наплавленного слоя.

Необходимо отметить, что при наплавке в графитовых формах получается некоторое науглероживание металла наплавленного слоя, а в случае применения буры в качестве флюса происходит борирование наплавки. Вследствие этого твердость наплавленной стали после отжига находится в пределах 35—40 единиц на шкале „С“ Роквелла. Наплавку такой твердости обрабатывать металлическими режущими инструментами затруднительно. При изготовлении наплавкой резцов это обстоятельство не имеет существенного значения, так как обработка резцов может быть произведена абразивами. При наплавке же режущих инструментов, требующих в процессе изготовления механической обработки резцами, фрезами и другими металлическими режущими инструментами, это является некоторым препятствием. Наплавка в шамотной форме с флюсом, не содержащим буру, не сопровождается борированием и соответственно дает более низкую твердость после отжига.

Особо существенное значение имеет получение плотного наплавленного слоя без пузырей и пор. Первые опыты, которые были проведены нами по наплавке резцов, дали в этом отношении совершенно неудовлетворительные результаты. Наплавленный слой получился пористым с большим количеством пузырей, напоминая собою губку, и в таком виде ни в коем случае не мог служить для изготовления режущего инструмента. Уничтожить пористость удалось после ряда опытов введением раскисления наплавленного металла при помощи кремния или алюминия. Наиболее хорошие результаты дало раскисление алюминием. Было испробовано введение различного количества алюминия, причем оказалось, что для получения наплавленного слоя достаточно добавить алюминия в количестве 2—4% от веса наплавленного металла. Больше количество алюминия приводит к снижению режущих качеств наплавленного инструмента.

Было выяснено, что пористый наплавленный слой может получиться и при раскислении алюминием в том случае, когда наплавка производится в недостаточно огнеупорном шамоте.

Специальными опытами было установлено, что наплавленный слой не требует закалки, получая ее автоматически в процессе охлаждения из расплавленного состояния. Для получения высоких режущих качеств и красностойкости инструмент должен быть подвергнут после наплавки многократному отпуску. Температура отпуска была установлена для на-

плавленной быстрорежущей стали типа РФ-1 в пределах 550—580°, для наплавки из малолегированных быстрорежущих сталей ЭИ-184 и ЭИ-262 в пределах 540—560°. Таким образом, температура отпуска для наплавленной быстрорежущей стали соответствует температуре отпуска кованой быстрорежущей стали. Резцы, подвергнутые после наплавки немедленному охлаждению в масле, не показали при испытании никаких преимуществ по сравнению с резцами, охлажденными после наплавки в спокойном воздухе.

Отсутствие необходимости специальной закалки наплавленных резцов существенно упрощает их изготовление, освобождая производство от проведения сложной термической операции, требующей специального термического оборудования.

Кроме наплавки стали типа РФ-1, была исследована возможность наплавки малолегированных быстрорежущих сталей ЭИ-184 и ЭИ-262. Опыты показали полную возможность применения для наплавки этих сталей той же технологии, что и для стали РФ-1, а испытания наплавленных резцов выявили их режущие качества и показали, что можно получить высокопроизводительный инструмент, применяя для наплавки сталь ЭИ-262 в чистом виде и сталь ЭИ-184 в смеси со сталью РФ-1.

Ниже мы даем описание технологии наплавки резцов.

2. Технологический процесс наплавки резцов быстрорежущей сталью угольным электродом

Наплавка режущих элементов резцов делается быстрорежущей сталью типа РФ-1, ЭИ-262, ЭИ-184. Малолегированная быстрорежущая сталь ЭИ-262 может применяться для наплавки в чистом виде и дает при этом высокие режущие качества. Сталь ЭИ-184 в чистом виде не пригодна для получения наплавкой высокопроизводительного инструмента. Для того, чтобы резцы, наплавленные сталью ЭИ-184, давали высокие режущие качества, к ней нужно добавить при наплавке от 25 до 50% (к общему весу наплавленного металла) стали РФ-1 (см. главу IV). Сталь для наплавки применяется в виде стружки или в виде кусков объемом от 10 до 100 куб. мм (до 5 мм в поперечнике).

Стружку для наплавки следует растолочь в чугунной ступке, чтобы иметь материал, который возможно бы было насыпать на державку более компактной массой. Это необходимо как для уменьшения окисления, так и для уменьшения числа наплавленных слоев. Размельчение стружки не следует доводить до порошкообразного состояния. Размер отдельных кусочков должен быть 1—3 мм.

Державка под наплавку изготавливается из поделочной стали с содержанием углерода 0,4—0,5%. Форма державки обычная, как для изготовления резцов с припаянными или приваренными пластинками быстрорежущей стали. Особенной тщательности при изготовлении гнезда не требуется, но необходимы плавные переходы и недопустимы острые и прямые углы без закруглений (рис. 2).

Для удержания насыпанной стружки или кусочков быстрорежущей стали и жидкого наплавленного металла на конце державки, необходимо окружить место наплавки формовкой. Эту формовку лучше всего изготовить в виде пластинок кускового графита; пластинки также могут быть изготовлены из щеток электромашин (графитовые щетки марки Г 1, Г 2, Г 3, Г 4, Г 5) или вырезаны из старых использованных графитовых тиглей. Этими пластинками из огнеупорных материалов окружается место наплавки с трех сторон, образуя замкнутую ванну для наплавленного металла. Пластинки в верхней своей части срезаются на 1,5—2 мм так, чтобы на-

плавляемый слой был шире державки, что обеспечивает провар кромок и облегчает заточку наплавленных резцов.

На рис. 3 формовка изготовлена из трех кусков: а, б, в, но она может быть изготовлена из двух частей и даже вырезана целиком из одного куска графита. Последнее обеспечивает более быструю и легкую работу сварщику, но требует более точного изготовления державок. Если формовка делается из двух или трех частей, то они во время работы удерживаются струбциной той или иной конструкции или вставляются в специально изготовленное для этой цели приспособление.

Формовка также может быть изготовлена из мелкораздробленного шамота, в который для связи добавляется 15—20% огнеупорной глины. Из замешанной на воде массы изготавливается формовка, сушится и прокаливается при температуре 700—800° для удаления влаги. В этом случае получается цельная форма, которая проста по изготовлению и при аккуратной работе может употребляться повторно. Обломки форм используются для изго-

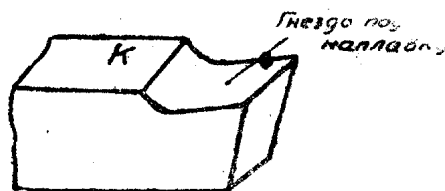


Рис. 2

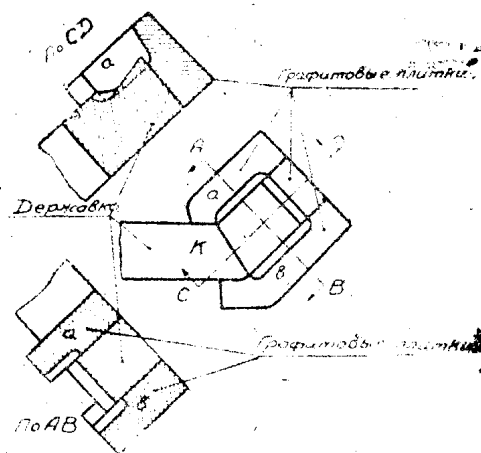


Рис. 3

товления новой формовочной массы. Формовка может быть также изготовлена из обычного шамотного кирпича в виде пластинок или целой формы.

Наиболее удобно применять для наплавки резцов формы из шамота, изготавливаемые по способу обычной литейной формовки. Для этого применяется такая же формовочная масса, какая применяется для стальных отливок. Молотый и просеянный шамот (крупностью 12 меш) смешивается с разведенной в воде глиной в количестве 20% от веса шамота.

Как показали опыты наплавки резцов в шамотной форме, шамот необходимо брать достаточно огнеупорный. В противном случае, наплавка получается пористой. Причиной пористости являются газы, выделяющиеся из расплавленного флюса и пронизывающие жидкий наплавляемый металл.

Если шамот легкоплавкий, то флюс, сплавляясь с ним, дает вязкий шлак, который создает такое большое сопротивление выходу газов через толщу его, что они предпочитают выходить через металл. При достаточно огнеупорном шамоте флюс почти не сплавляется с шамотом формы, шлак остается жидким, и наплавка получается совершенно плотной.

Хорошее качество наплавки в шамотной форме мы получали, применяя шамот огнеупорного завода Главогнеупора Нижне-Тагильского пункта, класс Б, температура плавления 1690°. Состав шамота по заводскому анализу: SiO_2 — 60%; Al_2O_3 — 36,54%; Fe_2O_3 — 2%; CaO — 0,46%; MgO — 0,56%. Влажность формовочной массы берется такая же, как и для обычной литейной формовки. Приготовленная масса насыпается в железный ящик и слегка утрамбовывается. Державка резца, предназначенная для наплавки, соединяется с деревянной моделью, изготовленной по форме гнезда державки. На рисунке 4 представлена деревянная модель со штифтами а, препятствующими передвижению модели по державке.

На рисунке 5 державка резца соединена с моделью, которая посажена на гнездо державки. В таком виде державка с деревянной моделью вдавливается в формовочную шамотную массу, насыпанную в ящик, как показано на рис. 6. После вдавливания державки с моделью, шамотная масса утрамбовывается кругом державки и модели, затем деревянная модель вынимается из шамотной массы, благодаря чему над гнездом державки образуется пространство, предназначенное для помещения наплавляемой на гнездо быстрорежущей стали, стеканию которой с гнезда будет препятствовать окружающая масса. На рисунке 7 показана

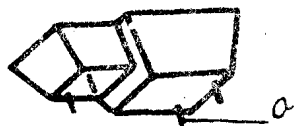


Рис. 4

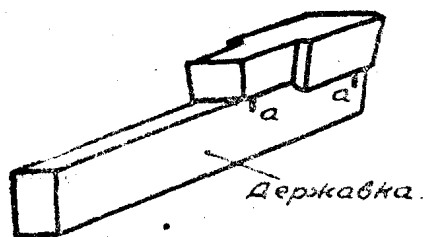


Рис. 5

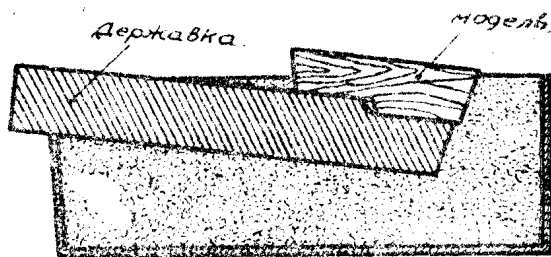


Рис. 6

державка, помещенная в шамотную массу с вынутой деревянной моделью. Державка должна соприкоснуться в точке а со стенкой ящика для подведения тока. По изготовлении формы сразу же можно приступить к наплавке. Сушка формы не требуется, так как она происходит в первые моменты операции под воздействием тепла вольтовой дуги.

Излишняя влага в формовке влечет за собой замедление прогрева державки перед наплавкой и увеличивает опасность поглощения наплавлен-

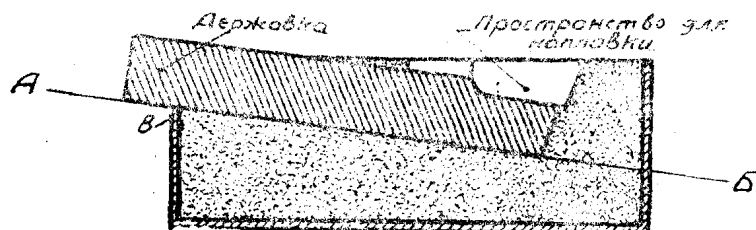


Рис. 7

ным металлом водорода, образующегося при разложении водяных паров, выходящих из формовочной массы под резцом.

С целью уменьшить количество водяных паров, выделяющихся из формовки, рекомендуется следующий способ формовки: сухая формовочная масса насыпается и утрамбовывается до плоскости АБ (рис. 7). На эту плоскость помещается резец с деревянной моделью на нем, как это было указано выше на рис. 5 и рис. 6. Затем уже вокруг модели насыпается и утрамбовывается влажная формовочная масса.

В этом случае водяных паров из-под резца не поступает, что дает дополнительное улучшение качества наплавки и уменьшает расход тепла, вследствие чего повышается производительность наплавочных работ.

Наплавку можно производить переменным током от обычного сварочного трансформатора СТ-2 с реактором или от любого сварочного тран-

сформатора, могущего дать ток необходимой силы, а также и постоянным током от обычного сварочного агрегата постоянного тока.

При пользовании постоянным током угольный электрод следует соединять с отрицательным полюсом, а навариваемый резец с положительным, для предотвращения интенсивного науглероживания наплавленного слоя.

Угольный электрод берется малого диаметра для возможности работать им в узком пространстве. Обычный угольный электрод (применяемый для дуговых ламп) при малом диаметре его сильно нагревается, быстро обгорает, и рабочий конец его приходится заправлять. Поэтому лучше применять графитированный электрод марки С-Кудиново, который вследствие большей проводимости греется слабее. Электрод можно также приготовить из кускового графита.

Нагрев электрода ускоряет его сгорание и вызывает остановку в работе из-за нагрева электродержателя. Можно рекомендовать производить охлаждение электрода и электродержателя—погружением в воду. К сожалению, не всякий угольный электрод выдерживает эту операцию. Некоторые электроды при замачивании их растрескиваются, тогда, конечно, этот способ охлаждения будет непригоден.

Сила тока при наплавке выбирается в зависимости от диаметра электрода и его материала из следующих таблиц.

Таблица 2

Сила тока для графитированного электрода марки С-Кудиново	
Диаметр электрода в миллиметрах	Сила тока в амперах
5	0
10	180—700
12,5	210—250
15	250—280

Таблица 3

Сила тока для графитового электрода	
Диаметр электрода в миллиметрах	Сила тока в амперах
5	100
10	190
12,5	250
16	325

Таблица 4

Сила тока для угольного электрода	
Диаметр электрода в миллиметрах	Сила тока в амперах
5	25
10	70
12,5	90
16	120
22	170

Конец электрода запиливается конусообразно на длине от 2,0 до 2,5 диаметров электрода (рис. 8). Также возможно конец электрода вместо заправки напильником зашлифовывать на грубозернистом наждачном круге. Зашлифовку легче сделать, и меньше опасность поломки электродов.

Электродержатель наиболее просто изготовлять из листовой красной меди сечением 2 × 50 мм (рис. 9). Концы приготовленного держателя могут быть вставлены в обычный электродержатель для металлических электродов. По мере сгорания угольный электрод выдвигается из электродержателя. Немного более сложен в изготовлении держатель рис. 10, но он обладает большей упругостью, позволяет дать большее давление на угольный электрод при его закреплении, что понижает сопротивление контакта

уголь—держатель, следовательно, уменьшит и разогревание электрода и держателя.

Быстрорежущая сталь, предназначенная для наплавки, должна быть без ржавчины, масла и загрязнений; кусочки стали могут иметь какую угодно форму, но величина их должна быть удобной для засыпки на заформованную державку; объем кусочков должен быть не более 100 куб. мм, как это выше указывалось. Если сталь для наплавки применяется в

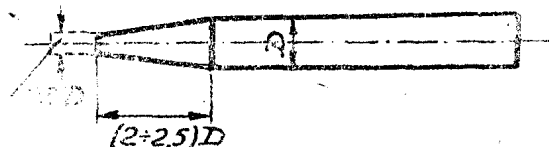


Рис. 8

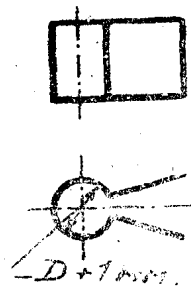


Рис. 9

виде стружки, то она также должна быть без ржавчины и масла, кроме того, для более компактной насыпки при наплавке, она дробится в чугунной ступке.

В качестве флюсов при наплавке применяются:

- а) при наплавке в графитовых формах:
- | | |
|--|---------------|
| переплавленная и измельченная бура | 90% (по весу) |
| опилки алюминия | 10% |

Опилки алюминия должны быть получены из-под драчового напильника. Более мелкие негодны, так как они могут бесполезно сгорать.

- б) При наплавке в шамотных формах:
- | | |
|---------------------------|---------------|
| мрамор | 52% (по весу) |
| плавиковый шпат | 32% |
| опилки алюминия | 16% |

Количество флюса, применяемого при наплавке каждого резца, должно быть взято из расчета, чтобы алюминий, содержащийся в флюсе, составлял по весу около 3% от веса наплавляемого металла.

Алюминий может и не добавляться в флюс, а вводиться непосредственно в наплавляемый металл. Введение алюминия с флюсом или непо-

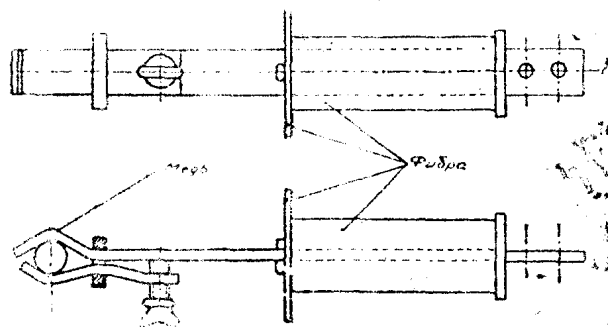


Рис. 10

средственно в наплавляемый металл необходимо для получения плотного беспористого слоя. Алюминий при этом является раскислителем жидкой ванны. Без алюминия получение плотного слоя затруднительно. Увеличение количества алюминия свыше 3—4% от наплавляемого металла снижает режущие качества резцов.

При введении алюминия в флюс, содержащий буру, количество свободного алюминия в шлаке больше, чем при введении алюминия в флюс без буры (мрамор и плавиковый шпат). Это объясняется тем, что бор в условиях сварочного фокуса восстанавливается углеродом; восстановленный металлический бор является хорошим раскислителем, вследствие чего расход алюминия на раскисление уменьшается. В случае применения флюса, не содержащего буры, более значительное количество алюминия идет на раскисление стали, и меньшее количество переходит в шлак. Однако в металле концентрация алюминия примерно одинакова и, повидимому, не превышает в застывшем наплавленном слое сотых долей процента, что было подтверждено спектральным анализом.

Порядок выполнения процесса наплавки резцов следующий. После помещения державки резца в формовку, поверхность державки в том месте, где выбрано гнездо для наплавки, посыпается слоем флюса. Затем зажигают дугу в точке *к* (рис. 3) и прогревают гнездо на державке. После прогрева державки, что определяется относительно медленным потемнением ее после обрыва дуги, на гнездо державки насыпается слой стружки толщиной 2—3 мм, и сверху насыпается слой флюса. Вновь зажигается дуга в точке *к*, и при ее перемещении по державке плавится стружка. Надо обращать особое внимание на хороший прогрев державки по краям гнезда. Когда шихта расплавится и покроет всю поверхность гнезда равномерным слоем, дугу обрывают и насыпают небольшое количество флюса на расплавленную поверхность металла. На слой флюса насыпают стружку слоем толщиной до 10 мм. На этот слой стружки насыпают слой флюса, слегка покрывающий всю поверхность стружки. Вновь зажигают дугу в точке *к* и расплавляют шихту по всей поверхности. При этом необходимо следить за тем, чтобы поверхность металла была ровной и спокойной, для чего следует дать некоторый промежуток времени для выделения газов из ванны. Если газы из расплавленного металла полностью не выделяются, то наплавка будет пористой.

Точно так же наплавляется третий слой. Обыкновенно трех слоев наплавки бывает достаточно, чтобы получить слой быстрорежущей стали толщиной 6—8 мм.

Для большей однородности всей наплавки полезно перед окончательным охлаждением ее снова проплавить на почти полную глубину и перемешать всю расплавленную часть наплавки.

Эта операция полезна как для окончательного выделения газов из всей наплавляемой массы, так и уменьшения количества и размеров зерен карбидов, которые могли выделиться в нижних слоях при наплавке вышележащих слоев. Делается эта операция перемешивания и проплавки следующим образом. На рисунке 11, *а*—резец, *б*—формовочная масса, *с*—край оплавленной формовочной шамотной массы, *д*—шлак, располагающийся вокруг жидкой расплавленной ванны *ж*. Электродом *э* возбуждают вольтовую дугу в точке соприкосновения шлака *д* с поверхностью жидкой наплавки, т. е. в точке *и*, как показано на рис. 11.

Затем, разогрев ванну, перемещают дугу последовательно в точки *к*; *л*; *м* и обратно, делая это постепенно. После первого же обхода электродом по указанному пути, ванна очень энергично перемешивается по направлению стрелок, как это видно из рис. 12, представляющего собою разрез формовки рис. 11 по плоскости *Q*.

На рис. 12 *а*—державка; *д*—шлаковая ванна; *ж*—жидкая ванна наплавки; *к*—точка пересечения поверхности ванны наплавки с поверхностью шлаковой ванны *д*.

Перемешивание производится до тех пор, пока ванна жидкого металла не будет совершенно чистой и гладкой. После этого дугу прерывают, дают металлу затвердеть и освобождают резец от формовочного

материала. Описанное выше проплавление и перемешивание, само собой разумеется, необходимо и при наплавке в графитовых формах.

При свободном застывании наплавленного слоя его затвердевшая поверхность принимает форму выпуклого мениска, что заставляет при за-

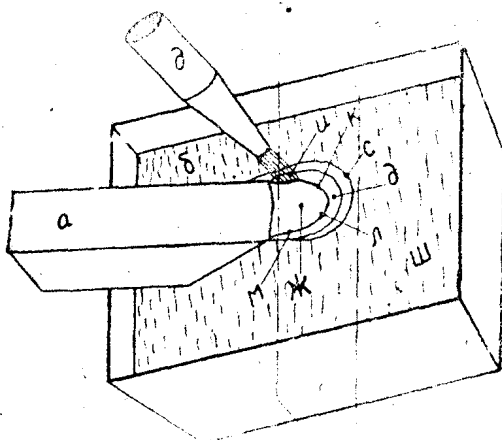


Рис. 11

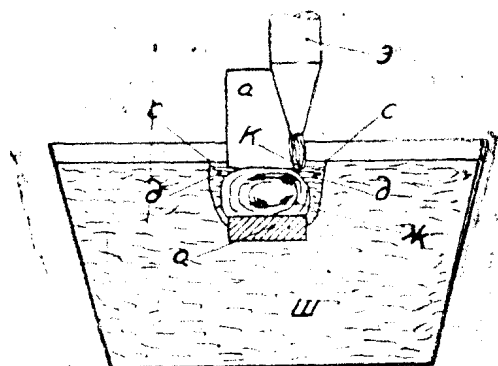


Рис. 12

точке реза удалять значительное количество наплавленного металла и излишне расходовать абразивы.

Для избежания этого рекомендуется сейчас же после наплавки, пока металл еще совершенно жидкий, к поверхности его прижать металлический стержень из стали или меди с плоским торцом, как это показано на рис. 13.

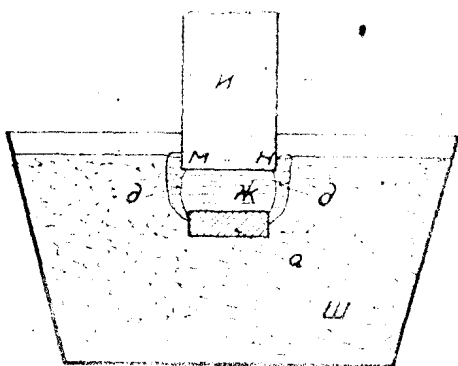


Рис. 13

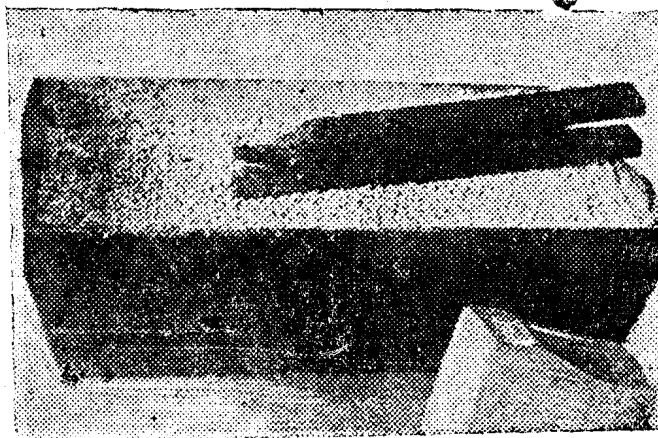


Рис. 14-а

На рис. 13 и—охлаждающий стержень, ш—шамотная формовочная масса, а—державка, д—шлак, вытесненный стержнем и по сторонам быстро остывающей ванны ж. Эта операция, кроме выравнивания застывающей поверхности наплавленного металла, вызывает также ускоренное охлаждение всего наплавленного слоя и предотвращает выделение грубых первичных карбидов.

Применяя металлический стержень и придавая ему желаемую форму, можно образовывать и фигурные поверхности наплавленного металла.

Охлажденные до температуры цеха, резцы подвергаются отпуску. Для отпуска необходимо применять электрическую муфельную печь сопротивления с контролем температуры или соляные ванны с электрическим, га-

зовым или иным обогревом, могущие дать необходимую температуру и поддерживать ее постоянство. Отпуск резцов, наплавленных быстрорежу-

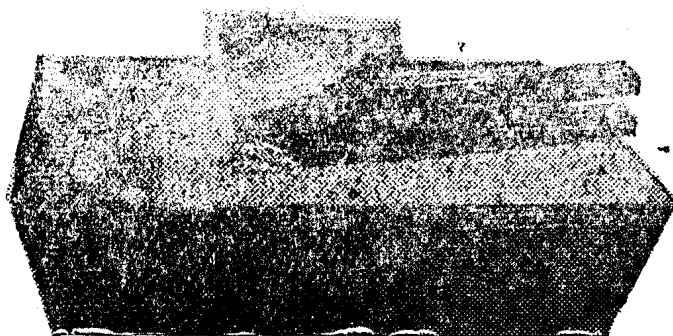


Рис. 14-б

щей сталью типа РФ-1, проводится при температуре 550—580°, причем лучшие результаты дает трехкратный отпуск с выдержкой по часу. Охлаж-

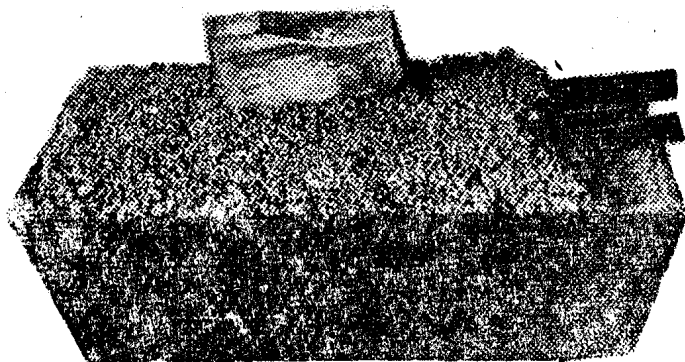


Рис. 14-в

дение после третьего отпуска желательно производить медленно. Твердость резцов после наплавки должна быть обычно не ниже 57—60 еди-

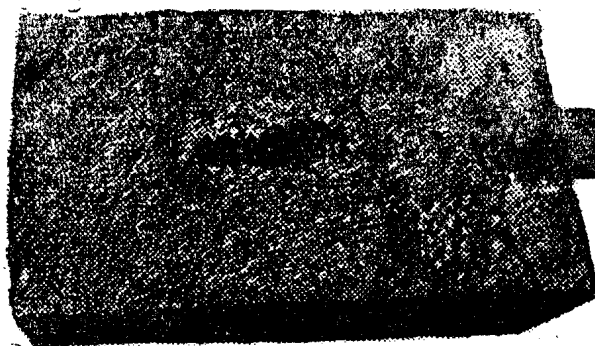


Рис. 14-г

нц Роквелла по шкале С. Твердость после трехкратного отпуска должна быть в пределах 63—66 единиц Роквелла по шкале С. Температура отпуска для резцов, наплавленных малолегированными быстрорежущими сталями, должна быть соответственно изменена. Температура отпуска для резцов, наплавленных смесью различных быстрорежущих сталей, должна

приближаться к температуре отпуска стали, преобладающей в наплавленном слое.

После отпуска наплавленные резцы направляются в заточку. Предвари-

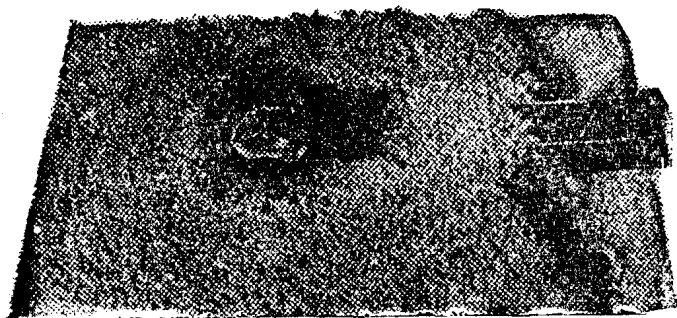


Рис. 15

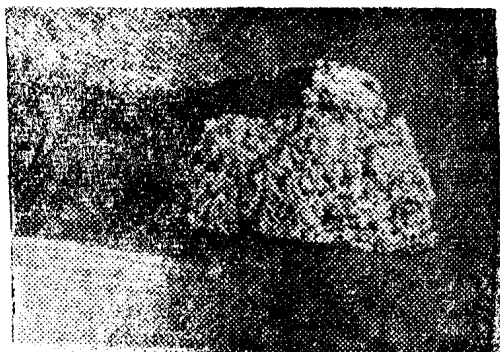


Рис. 16

тельно рекомендуется грубо заточить резец на круге зернистостью 24—36, затем окончательно довести на круге зернистостью 60. Заточку



Рис. 17

следует проводить с обильным охлаждением для предотвращения возможности перегрева и прижогов.



Рис. 18

Углы заточки для наплавленных резцов берутся те же, что и для нормальных резцов из быстрорежущей стали и зависят от типа резца и сорта обрабатываемого материала.

При тщательном выполнении всех изложенных правил получаются резцы с плотным наплавленным слоем, прочно связанным с материалом державки.

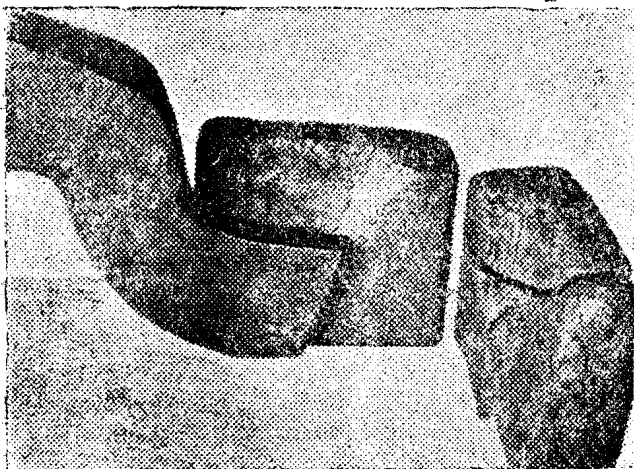


Рис. 19

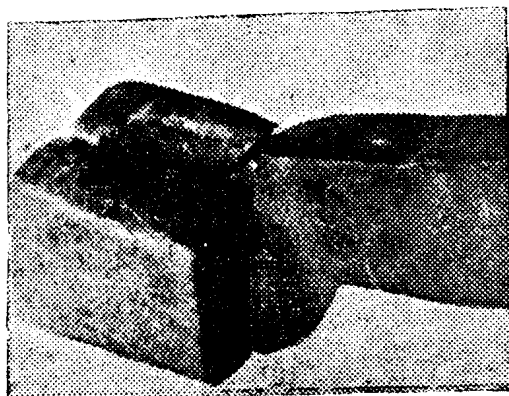


Рис. 20

жавки, обладающие высокими режущими качествами. Никаких дефицитных материалов для выполнения наплавки не требуется.

Для иллюстрации процесса наплавки на рис. 14 показана фотография формовки перед наплавкой, на рис. 15 формовка после наплавки. При

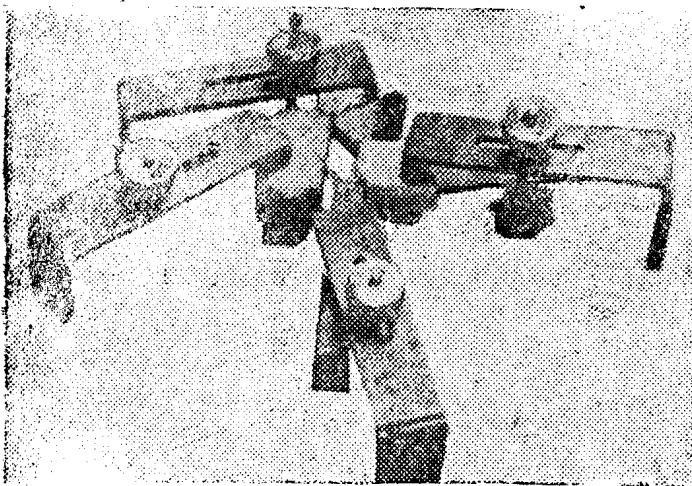


Рис. 21

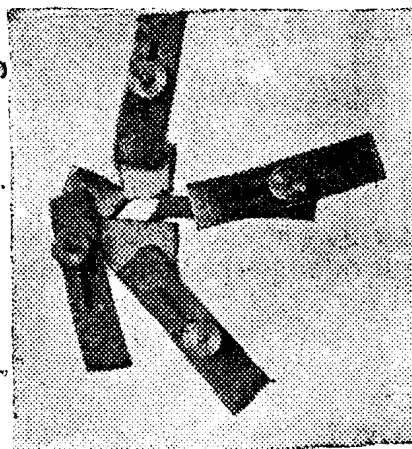


Рис. 22

сравнении их видно, насколько оплавляється формовочная масса от действия тепла вольтовой дуги. На рис. 16 дана фотография вынутого из шамотной формы резца с приставшим к нему шлаком, а на рисунке 17 тот же резец с отбитым шлаком. На рис. 18 показаны два резца после наплавки: „а“ с охлаждением медным стержнем и „б“, охлажденный свободно, без медного стержня. На этом резце хорошо видна закругленная поверхность наплавки.

На рис. 19 и 20 показаны графитовые формы. На рис. 21 и 22 формовка из шамотных кирпичиков.

3. Некоторые соображения о дальнейшем улучшении процесса наплавки

Нами процесс наплавки резцов выполнялся так, как это изложено во 2 разделе настоящей главы, причем большое количество резцов, наплавленное нами в процессе исследований (более 500 резцов), позволило нам тщательно проверить правильность разработанной технологии и убедиться в надежном качестве получаемых наплавкой резцов. В главе IV будут приведены исчерпывающие данные о широких испытаниях наплавленных резцов, которые показали их высокие режущие качества. Большинство резцов наплавлялось нами на переменном токе. Качество наплавки на постоянном токе получается тем более надежным, что работа на постоянном токе ввиду большей стабильности дуги, более проста.

Выше мы отмечали ценное свойство „угольной дуги“, дающее возможность получать высокую температуру даже при малых силах тока. К это-

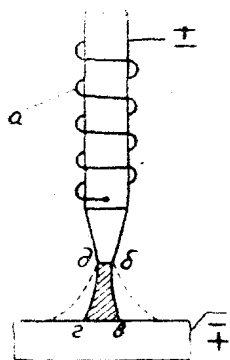


Рис. 23

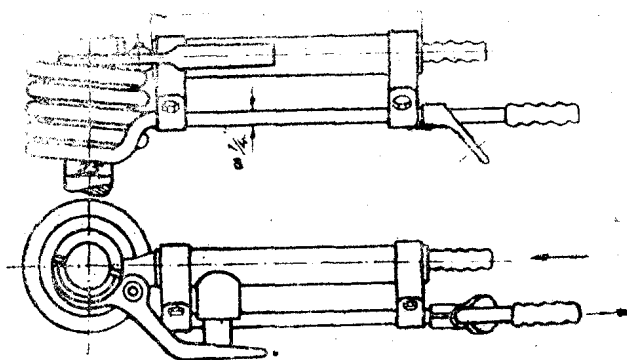


Рис. 24

му следует добавить, что действие дуги можно еще более усилить, если применить продольное магнитное поле по схеме рис. 23.

Соленоид *а*, создавая продольное магнитное поле, успокаивает дугу, она перестает перебегать с места на место по свариваемой детали, сжимается, уменьшая свои поперечные размеры, т. е. вместо размеров, указанных на чертеже пунктиром, она становится уже, как это указано сплошными линиями *б*, *в*, *г*, *д*. Эта устойчивость дуги очень важна для наплавки резцов, так как она в значительной мере облегчает манипуляции с ней, уменьшает количество обрывов дуги и, следовательно, тем самым улучшает качество наплавленного металла. Достаточным для хорошего успокоения количеством витков соленоида будет от 8 до 12.

Конструктивное оформление электродержателя с соленоидом приведено в книге пр. Хренова и Ярхо [22], откуда и заимствован эскиз держателя на рис. 24.

На указанном держателе соленоид выполнен из медной трубки, которая одновременно служит и проводником, и холодильником, если по ней пропускать охлаждающую жидкость—воду.

Это улучшение очень важно в цеховых условиях, если работать по наплавке, непрерывно поддерживая вольтовую дугу в течение продолжительного времени. Проводник и место контакта электрода с держателем сильно разогреваются от джоулева тепла, выделяемого при прохождении электрического тока, а также и от действия лучистой теплоты от близко горящей дуги. Этот нагрев держателя заставляет прекращать работу и терять время на охлаждение его.

Следует также заметить, что охлаждаемый трубчатый провод может быть сделан более легким и компактным, что очень важно для удобства работы.

Если все же значительный вес держателя будет утомителен для сварщика, то можно рекомендовать подвесить держатель на тросе с противовесом. Это просто сделать, так как наплавка резцов ведется на сварочном столе в одном каком-либо вполне определенном месте.

Необходимо обратить серьезное внимание на зажим угольного электрода с достаточным давлением для уменьшения сопротивления контакта.

Из теории контакта известно, что сопротивление контакта зависит от давления, уменьшаясь при его увеличении, и не зависит от площади соприкасающихся поверхностей [23].

4. Возможные иные методы электродуговой наплавки быстрорежущей стали

Кроме простого способа наплавки, применявшегося нами и подвергнутого тщательному исследованию, нами были опробованы и другие способы, указание на которые мы здесь приводим, оговариваясь, что они не были нами подвергнуты тщательной разработке и исследованию.

а) Способ Церенера. Этот способ заключается в том, что дуга возбуждается между двумя угольными электродами, зажатыми в специальном электродержателе. При этом получается пламя дуги, горящее независимо от наплавляемого металла, так же как это имеет место при наплавке ацетилено-кислородным пламенем и атомно-водородной горелкой. Способ Церенера дает несколько меньше тепла и требует больше тока, чем применявшийся нами. Дуга имеет больший объем и дает менее острое пламя, чем пламя ацетилено-кислородной горелки.

Лучше способ Церенера с применением трехфазного тока, при котором вольтова дуга возбуждается между тремя угольными электродами. Здесь дуга более интенсивна по своему действию, пламя более заостренное, электроды меньшего диаметра. Аппаратура, требующаяся для осуществления этого способа, более сложна, т. к. требуется не менее двух сварочных трансформаторов и три регулятора.

Можно предполагать, что применение способа Церенера было бы удобно для наплавки значительных по площади поверхностей.

б) Способ наплавки под слоем флюса. Мы отмечали, что недостатками способа наплавки электродом из быстрорежущей стали является, кроме необходимости изготовления этого электрода, еще и необходимость составления и нанесения на электрод сложной обмазки. Без этого можно обойтись, если наплавку быстрорежущим электродом вести по способу скоростной сварки под слоем флюса. Этот способ будет иметь то преимущество, что здесь совершенно не будет происходить науглероживания наплавляемого металла.

Попытки применить два указанных способа дали положительные результаты и подлежат детальной разработке.

ГЛАВА III

МЕТАЛЛОГРАФИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ НАПЛАВЛЕННОЙ БЫСТРОРЕЖУЩЕЙ СТАЛИ

1. Общие положения

Данный раздел работы представляет собою исследование макро-и микроструктур резцов, наплавленных быстрорежущей сталью. Прежде всего, мы обратили внимание на характер излома наплавленного слоя.

Вследствие возникновения большого числа центров кристаллизации, первичные ледебуритные карбиды, придающие основную структуру изло-

му, выделялись в виде мелких кристаллов, и по величине зерна излом мало чем отличался от излома ковanej стали. Лишь при внимательном рассмотрении можно было обнаружить отдельные зоны литой стали — зону транскристаллизации и внутреннюю зону, и то не на всех наплавках. Внутренняя часть не имела заметной столбчатой кристаллизации. На изломе не обнаруживалось пор, раковин и иных дефектов слитка. Применение алюминия исключало возможность кипения металла. В данном случае алюминий являлся не только раскислителем. Главная роль алюминия, собственно, была не только раскисление стали, но также частичное подавление некоторых реакций, сопровождающихся выделением газов. Во всяком случае, по мелкокристалличности излома наплавки ни в какой мере не напоминали излом даже небольшого слитка и не походили на излом литого металла.

При сравнении излома наплавки с изломом стеллита (сравнивалась пластинка стеллита такого же сечения и массы, как и наплавка) преимущество по мелкозернистости было на стороне наплавки. Излом стеллита много грубее. Макроструктура наплавки в основном повторяет картину излома.

Для изучения характера излома наплавленный слой нами отбивался от державки ударами ручной кувалды. Следует отметить, что для отделения наплавленного слоя всегда требовалось большое число сильных ударов и при этом, обычно, наплавленный слой отделялся от державки лишь после того, как державка была сильно деформирована. Это обстоятельство само по себе указывает на высокую ударную вязкость наплавки — значительно большую, чем у литой стали.

При получении наплавки по нашему способу вследствие малых размеров слитка получается большое число центров кристаллизации. Поэтому ледебуритные карбиды выделяются более равномерно и в более мелкой форме, чем в литой стали, в слитках, даже небольшого размера, не более 10 кг. Причем не замечалось карбидной сегрегации и почти не было столбчатой транскристаллизации. Однородность карбидной структуры гарантирует постоянство режущих свойств по всей толщине наплавленного слоя.

Вместе с тем нужно отметить, что карбиды выделяются в виде ледебуритного кружева, но отдельные участки, занимаемые этим кружевом, были малы и поэтому наличие ледебуритных карбидов не влияло на хрупкость. Величина островков ледебуритных карбидов колебалась в некоторых пределах от резца к резцу, но это, в определенных пределах, не отражается на стойкости резцов. Во всяком случае, даже медленно кристаллизующаяся наплавка, не имеет таких громадных карбидных включений, как у любого сплава стеллита. Вероятно, здесь сказывается модифицирование сплава небольшим количеством алюминия и в некоторых случаях, вероятно, бора. Специальные опыты, имевшие целью проверить достаточность скорости охлаждения для закалки на воздухе, показали, что нет никакого смысла принимать специальные меры для ускорения охлаждения, например, путем погружения в масло, обдувки сжатым воздухом и т. п.

Если державка нагрета нормально, так чтобы получился хороший провар, а не перегрета чрезмерно, то спокойное охлаждение на воздухе дает вполне подходящую нормальную структуру. Также неосновательной оказалась боязнь появления трещин в месте провара или в самой наплавке. Особенных условий охлаждения (охлаждение в термосе, засыпка только что наплавленных резцов теплоизолирующим порошком) не требуется.

Остывание резцов на воздухе и даже ускоренное охлаждение наплавки металлическим стержнем никогда не вызывало ни при лабораторных, ни при заводских опытах появления трещин, отскакивания наплавки и т. д.

Поэтому очень удачно было соединение охлаждения на воздухе после наплавки с закалкой. Охлаждение на воздухе после наплавки заменяло закалку.

Специальных магнитометрических опытов по определению количества аустенита и мартенсита в наплавке, охлажденной на воздухе, не производилось. Но определение твердости и испытание резанием показали, что можно говорить о нормальном соотношении количества аустенита и мартенсита в наплавке, т. е. о том соотношении, которое мы имеем в обычной ковальной быстрорежущей стали после закалки с охлаждением в струе воздуха или в масле. Но необходимо отметить, что вследствие повышенного содержания углерода в наплавках по сравнению с обычной быстрорежущей сталью, устойчивость аустенита против отпуска в наплавках обычно выше, нежели устойчивость аустенита в обыкновенной быстрорежущей стали. Вероятно, бор, переходящий в наплавку в небольших количествах из буры, также может повысить устойчивость аустенита, хотя надежных данных об этом нет. Поэтому, единственной необходимой термической обработкой при наплавке резцов быстрорежущей сталью угольным электродом является трехкратный отпуск.

Наши опыты показали, что наилучшие результаты получаются при трехкратном отпуске при 550° — 580° с выдержкой по одному часу.

Мы стремились к наибольшему упрощению и удешевлению производства резцов и получили высококачественные резцы с применением только единственной термической операции — отпуска. Но при отжиге ледебуритные карбиды должны коагулировать, а структура приближаться к структуре ковальной быстрорежущей стали. Поэтому в случае необходимости получения режущего инструмента с повышенной ударной вязкостью можно ввести дополнительную операцию отжига, но тогда, конечно, понадобится специальный нагрев под закалку.

В процессе наплавки резца быстрорежущей сталью угольным электродом можно особенно просто легировать наплавку путем введения в нее ферросплавов и чистых металлов. Мы провели некоторое количество опытов по легированию наплавки никелем, кобальтом, молибденом и азотом, которые дали весьма интересные результаты. Исследования в этой области намечают в дальнейшем широкие перспективы.

Во всех исследованных нормальных наплавках структура однородная. Сегрегации или ликвации практически не наблюдается. Это вполне естественно, т. к. при быстром охлаждении мы имеем ускоренный переход через линии ликвидуса и солидуса, а в процессе наплавки энергичное перемешивание наплавленного металла. В месте соединения наплавки с основным металлом при правильном ведении наплавки, отсутствуют газовые пузыри и пористость. Величина переходной зоны в месте провара обычно не превышает 0,5 мм.

Шлифы для металлографического исследования изготовлялись перпендикулярно оси резца, причем исследовалось много резцов, бывших в работе. Шлифы изготовлялись обычным методом, подвергались травлению 5%-ным раствором азотной кислоты в этиловом спирте. Структуры исследовались при различных увеличениях, а фотографировались преимущественно при увеличении 300.

2. Структура слоя быстрорежущей стали после наплавки

Для наплавки резцов использовалась стружка быстрорежущей стали марки РФ-1 следующего химического состава в процентах (табл. 5).

Технологические условия наплавки: резцы наплавлились электродуговой сваркой угольным электродом, переменным током. Наплавка осуществлялась в различных условиях формовки наплавливаемой части: в граfi-

Таблица 5

C%	Cr%	W%	V%
0,76	4,60	17,84	1,13

товой форме, в форме из мелкого толченого шамота с добавлением 20% глины. Режущие грани наплавлялись на державки обычно из поделочной стали марки 45. Почти во всех случаях, кроме особо оговоренных, применялся алюминий в качестве раскислителя из расчета 3% опилок алюминия от веса наплавляемой стружки. Наплавка одного резца весила обычно 20—25 граммов.

На рис. 25 представлена микроструктура резца, напавленного стружкой быстрорежущей стали марки РФ-1, указанного выше химического состава. Микроструктура исследовалась непосредственно после наплавки,

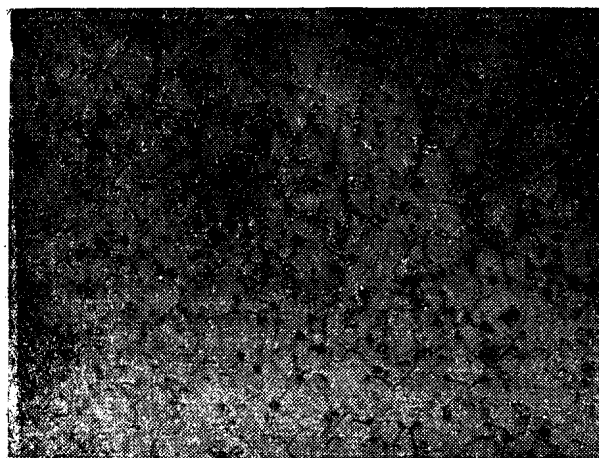


Рис. 25

× 300

резец отпуску не подвергался. Структура дана при увеличении 300. На рис. 26 та же структура при увеличении 600. Наплавка производилась в



Рис. 26

формовке из графитовых пластин с применением флюса из буры с раскислением алюминием.

Микроструктура, показанная на рисунках 25 и 26, представляет собою мелкое кружево ледебуритных карбидов, главным образом карбидов железа и карбидов легирующих элементов—вольфрама, хрома, ванадия на фоне аустенитно-мартенситной структуры. Данная структура является типичной для наплавленных резцов до отпуска. С кованой быстрорежущей сталью ее роднит мелкозернистость структуры, и в то же время общим с литой сталью является присутствие ледебуритного кружева. В данном случае характерна особенная мелкозернистость первичных карбидов. Такая структура подтверждает ранее высказанные предположения о характере кристаллизации в малых слитках (см. глава I). Структура по всему сечению наплавленного слоя одинакова, за исключением переходной зоны, которая обычно имеет толщину приблизительно 0,5 мм. Особенно следует подчеркнуть отсутствие карбидной сегрегации и отдельных скоплений карбидных масс. Это безусловно обеспечит неизменность режущих свойств при переточке резца. Химический состав наплавки в ‰ дается в табл. 6.

Таблица 6

С	Cr	W	V
0,90	4,65	17,09	0,73

На рис. 27 изображена структура резца, наплавленного стружкой того же химического состава, как и в первом случае. Наплавка производилась в следующих условиях: формовка из графитовых пластин; в качестве флюса применялся плавиковый шпат и мрамор. Раскислителем служил



Рис. 27

алюминий. В микроструктуре наплавленного резца заметны несколько более крупные скопления ледебуритных карбидов, выделившихся в виде сетки. В переходной зоне имеем резкую границу между основным и наплавленным металлом (см. рис. 28). Темная область на микрофотографии—перетравленный материал державки. Вблизи наплавки мы имеем науглероженный слой с содержанием углерода 0,9% и структурой перлита. При необходимости более длительного травления наплавки материал державки, естественно, перетравлен.

В данном случае при резкой переходной зоне мы имеем хороший провар с полным отсутствием шлаков и газовых пузырей.

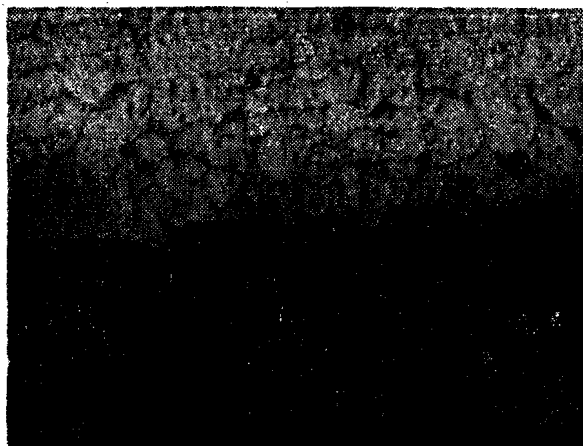


Рис. 28

Химический состав наплавки (в процентах) дан в табл. 7.

Таблица 7

С	Cr	W	V
0,86	4,60	17,23	0,89

На рис. 29 и 30 представлены микрофотографии с резца, наплавленного в форме из толченого шамота, смешанного с 20% глины. В качестве флюса употреблялся плавиковый шпат, смешанный с мрамором. Раскисли-



Рис. 29

телем служил алюминий. Режущая грань наплавлялась стружкой быстро-режущей стали марки РФ-1, указанного уже химического состава. В результате наплавки, проведенной при этих условиях, получен ряд переходных структур от основного к наплавленному металлу. Микроструктура основного металла—перлит с небольшим количеством феррита.

Рис. 29 дает переходную зону от материала державки к наплавленному слою, представляющую собой последовательно: ферритно-перлитную структуру дендритного строения, затем науглероженный слой до концентрации углерода, приблизительно 0,9%, и структуру перлита. Далее слой наплавленного металла в некоторых местах представляет собою структуру ясно выраженного игольчатого мартенсита на фоне полиэдрического

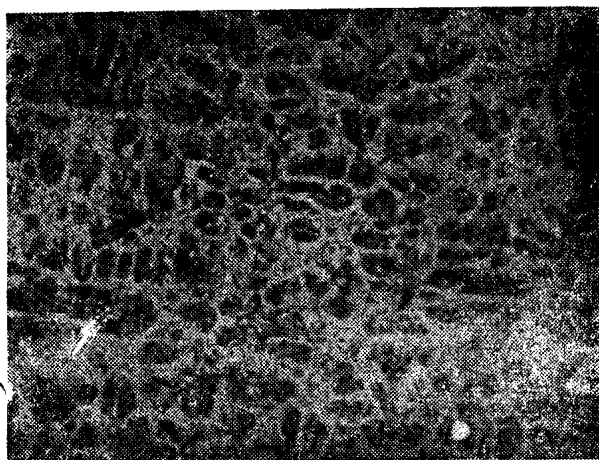


Рис. 30

аустенита. В дальнейшем при переходе к наплавке в структуре появляются включения ледебуритных карбидов, имеющих вид ледебуритного кружева достаточно тонкого строения.

Рис. 30 дает микроструктуру наплавленного металла, на которой ясно видны ледебуритные карбиды в виде тонкого кружева. Структура, представленная рисунками 27, 28, 30, характерна несколько более грубым строением ледебурита по сравнению со структурой на рис. 25.

Некоторое укрупнение сетки первичных карбидов отразилось на величине зерна в изломе и, как показали специальные испытания, не влияло на режущие качества наплавленного инструмента.

Химический состав наплавленного металла дан в ‰ в табл. 8.

Таблица 8

С	Cr	W	V
1,00	4,50	17,28	0,90

На рис. 31 изображена микроструктура резца, ваплавленного в форме из шамота с применением флюса из плавикового шпата и мрамора. Наплавка велась в данном случае без раскисления. Наплавка представляет собой мартенситно-аустенитную структуру с сеткой карбидов в виде ледебуритной эвтектики. В структуре явно преобладание мартенсита над аустенитом. Структура достаточно удовлетворительна. Доброкачественный резец без присадки алюминия может быть получен, но только при условии тщательной работы очень опытного сварщика. Введение алюминия, предохраняющего наплавку от окисления и дегазирующего ее, дает хороший наплавленный слой практически в руках любого сварщика. По-

этому мы и рекомендуем во всех случаях наплавки резцов применять алюминий в указанных ранее количествах.

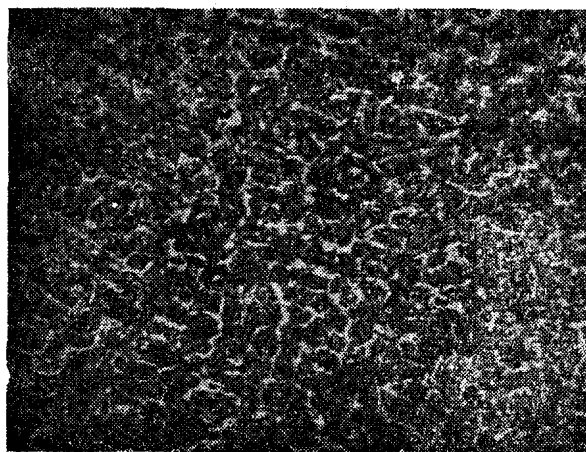


Рис. 31. $\times 300$

Химический состав наплавки в $\%$ дан в табл. 9.

Таблица 9

С	Cr	W	V
0,88	4,25	17,13	0,82

На рис. 32 при большем увеличении видны иглы мартенсита. Подобного рода структурные включения встречаются в наплавленном слое в

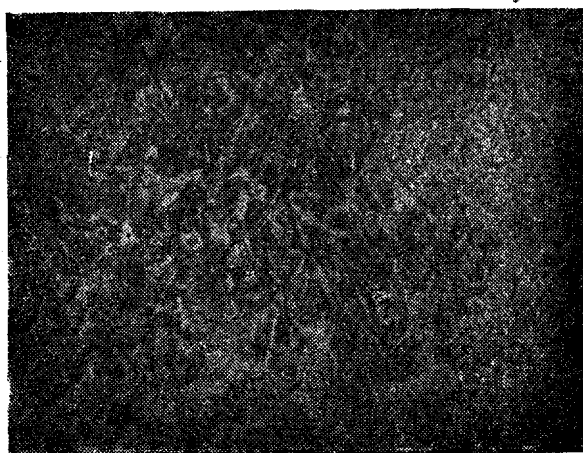


Рис. 32. $\times 300$

тех случаях, когда наплавка произведена в несколько слоев без заключительного проплавления всей массы наплавленного металла.

Во всех описанных случаях после того, как процесс наплавки можно было считать законченным, загустевающей металлической ванне придавалась более четкая форма режущих граней резца, нажатием металлического стержня, сечение которого соответствовало общим размерам наплавки. Это нажатие уничтожало выпуклый мениск, который неизбежно со-

проводит всякую металлическую ванну, образующуюся в процессе наплавки. Цель этой операции заключалась также в стремлении получить большее число центров кристаллизации и более мелкозернистую структуру за счет ускоренного охлаждения, связанного с отводом тепла при соприкосновении жидкого металла наплавки с холодным стержнем. В некоторых случаях резцы наплавлялись без нажатия стержнем с целью ис-

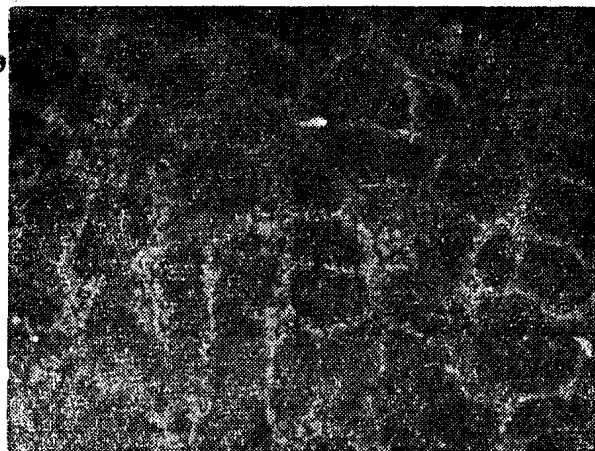


Рис. 33

× 300

следования влияния процесса дополнительного охлаждения стержнем на микроструктуру полученной наплавки.

Рис. 33 дает изображение микроструктуры резца, наплавленного без последующего охлаждения стержнем жидкого металла. В данном случае наплавлялась стружка РФ-1 на державку из стали 45.

Державка заформовывалась в измельченном шамоте. При наплавке в качестве флюса применялась бура, смешанная с алюминием, являющимся



Рис. 34

× 300

раскислителем. Микроструктура полученной наплавки значительно отличалась от всех последующих структур довольно грубой формой выделившихся ледебуритных карбидов. По своему строению она скорее частично напоминает структуру литой стали карбидного класса (литой быстрорежущей стали).

Рис. 34 дает микроструктуру металла при тех же условиях наплавки, но с применением охлаждения стержнем. При сравнении структур изображен-

ных на рис. 33 и 34 отчетливо видно более мелкое зерно аустенита и более тонкая сетка ледебурита в структуре наплавки с охлаждением стержнем. Таким образом, можно считать доказанным, что применение охлаждения стержнем, кроме выравнивания наплавленной поверхности, вызывает измельчение структуры в результате увеличения числа центров кристаллизации в застывающем металле.

Химический состав наплавки дан в табл. 10.

Таблица 10

С %	Cr %	W %	V %
0,86	4,20	17,02	0,90

3. Структура наплавленной быстрорежущей стали после отжига

Для исследования влияния отжига на структуру наплавленного металла был изготовлен резец, наплавленный быстрорежущей сталью марки РФ-1. Наплавка велась в шамотной форме с флюсом из плавикового шпата и мрамора и с раскислением алюминием.

На рис. 35 представлена микроструктура резца до отжига—немного мартенсита, аустенит в большом количестве и грубая сетка ледебурита



Рис. 35 × 300

из первичных карбидов. Резец с такой структурой подвергался отжигу по следующему режиму: нагрев вместе с печью до 870° со скоростью 200° в час, выдержка при данной температуре в течение одного часа, охлаждение вместе с печью до 720° и выдержка при 720° два часа.

На рис. 36 дана микроструктура образца после отжига: зерна первичных и вторичных карбидов, равномерно распределенные по всей поверхности шлифа. Структура основной металлической массы—эвтектоид сорбитообразного строения.

При отжиге вследствие малых размеров и большой разветвленности первичных карбидов, последние коагулируют, образуя зерна, чего не бывает при отжиге больших слитков, так как поверхностная энергия крупных кристаллов мала по отношению к общей энергии решетки в сравнении с мелкими и особенно мелкими разветвленными кристаллами. Очевидно, после закалки так отожженной быстрорежущей наплавки первичные кар-

биды сохраняют свое зернистое строение, и ударная вязкость наплавки должна улучшиться, также как и режущие свойства. Но отжиг и последующая закалка усложняет технологический процесс изготовления резцов, наплавленных угольной дугой.

Мы не применяли отжига с последующей закалкой, стремясь к возможному упрощению изготовления резцов, и при этом получили инстру-

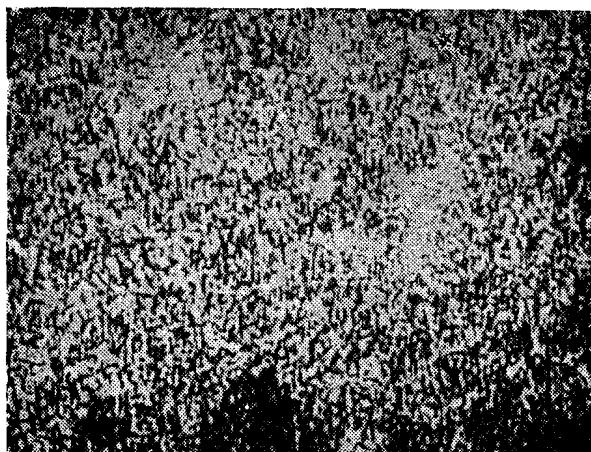


Рис. 36

× 300

мент с чрезвычайно высокими режущими свойствами, как это видно из главы IV.

В том случае, когда от инструмента потребуется повышенная ударная вязкость, ее можно получить за счет проведения дополнительной терми-



Рис. 37

× 300

ческой обработки—отжига-сфероидизации с последующей закалкой и отпуском.

Между прочим, наплавка быстрорежущей стали ацетилено-кислородным пламенем, которую рекомендуют всегда отжигать и подвергать закалке, после отжига дает примерно такую же структуру (см. рис. 37).

4. Влияние некоторых условий на структуру наплавленного слоя

В процессе наплавки при чрезмерно длительной выдержке металлической ванны в жидком виде, при искусственно замедленном охлаждении

возможно получение более грубого ледебурита. [Это может иметь место также при чрезмерном разогреве державки.

Подобная структура резца, подвергнутого трехкратному отпуску при 550—560° с выдержкой по 1 часу, показана на рис. 38. Данная структура

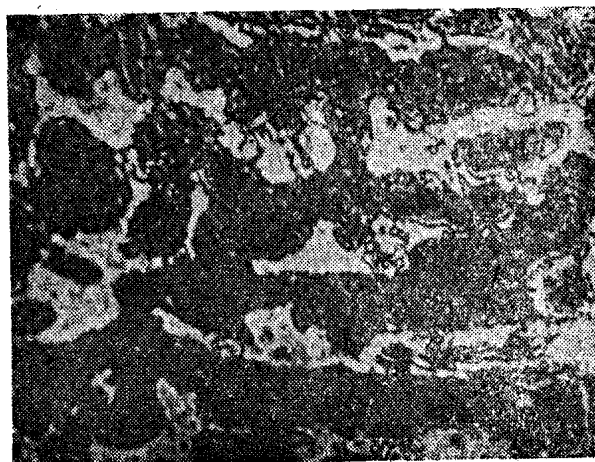


Рис. 38

× 300

представляет собой более грубую и массивную сетку ледебуритных карбидов и мартенсит.

Резцы с такой структурой наплавки обладают несколько пониженными режущими качествами. Микроструктура резца, показавшая лучшие

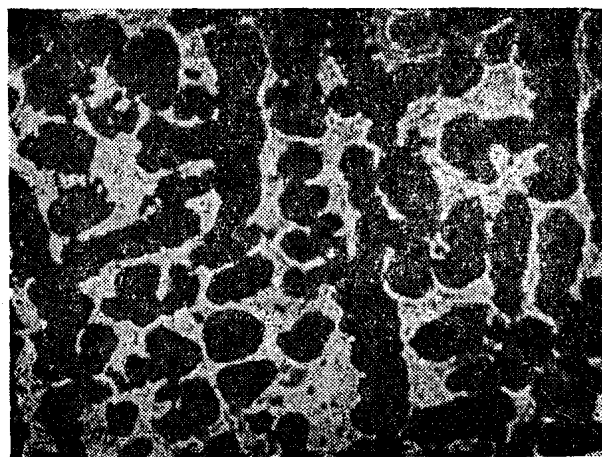


Рис. 39

× 300

режущие качества—ледебуритные карбиды более тонкого строения и включения мелкоигольчатого мартенсита. Структура значительно отличается от предыдущей: ледебуритные карбиды более раздроблены, карбидная сетка менее массивна (см. рис. 39). Термическая обработка этого резца подобна предыдущей.

5. Структура слоя, наплавленного малолегированной быстрорежущей сталью

Так как часть данной работы имела целью выяснить возможность использования для наплавки резцов малолегированных быстрорежущих сталей, то ниже приводятся структуры резцов, наплавленных малолегированными быстрорежущими сталями марки ЭИ-184, и структуры резцов,

наплавленных смесью из 50% ЭИ-184 и 50% РФ-1. После наплавки резцы были отпущены три раза при температуре 560° с выдержкой по 1 часу.

На рис. 40 представлена структура резца, наплавленного малолегированной быстрорежущей сталью марки ЭИ-184. Структура—ледебурит и мартенсит. Характерным здесь будет крупноигльчатый мартенсит от-

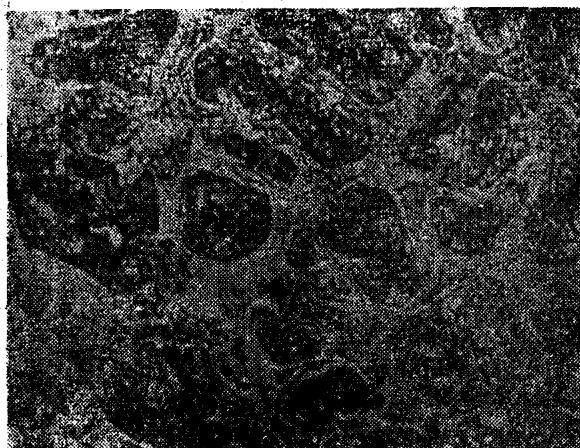


Рис. 40

× 300

пуска, являющийся преобладающей составляющей частью структуры на фоне ледебуритного кружева. Ледебурит с грубой сеткой карбидов.

Химический состав наплавки представлен табл. 11.

Таблица 11

C %	Cr %	W %	V %
1,32	7,08	5,07	1,27

При испытании резанием резцы, наплавленные ЭИ-184, дали пониженную стойкость. Найти исчерпывающие объяснения пониженной стойкости резцов в характере микроструктуры—трудно. Правда, форма выделения ледебурита и величина аустенитного зерна в структуре данной наплавки не может считаться вполне удовлетворительной, однако, сильное понижение режущих качеств резца ЭИ-184 можно, повидимому, объяснить повышенным содержанием углерода в наплавке по сравнению с обычным составом ЭИ-184.

На рис. 41 приведена структура наплавки, выполненной смесью сталей ЭИ-184 и РФ-1 с количественным соотношением: 50% ЭИ-184 и 50% РФ-1.

Микроструктура характерна менее массивной сеткой ледебуритных карбидов и средних размеров иглами мартенсита.

Химический состав наплавки в % дан в табл. 12.

Таблица 12

C %	Cr %	W %	V %
0,94	4,56	9,51	1,18

При испытании резанием резец показал режущие качества одинаковые с резцом, наплавленным только сталью РФ-1. Микроструктура подобна микроструктуре наплавки, выполненной сталью РФ-1 в чистом виде.

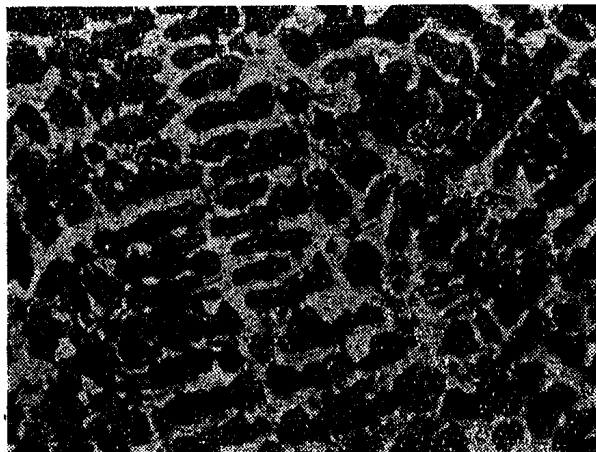


Рис. 41

× 300

6. Структура легированных наплавов

В данной работе были проведены некоторые опыты по введению легирующих элементов в наплавляемую быстрорежущую сталь с целью улучшить качество наплавленного инструмента. Наплавки были легированы азотом, никелем, молибденом и кобальтом.

Легирование азотом, никелем и молибденом четких результатов пока не дало. Легирование наплавов кобальтом в количестве 5, 10 и 15% дало очень интересные результаты.

На основании литературных данных можно ожидать очень интересных результатов от легирования быстрорежущей стали азотом. В условиях



Рис. 42

× 600

наплавки угольной дугой легирование азотом упрощается возможностью низкотемпературного цианирования стружки. При низкотемпературном цианировании будет иметь место исключительно азотирование.

Цианирование можно производить при нагревании в любых цианистых ваннах. Азотирование можно производить на любой установке для нитрирования деталей в атмосфере аммиака.

На рис. 42 представлена микроструктура (при увеличении 600) резца, наплавленного быстрорежущей сталью РФ-1, к которой была прибавлена азотированная стружка. На шлифе видны изолированные зерна первичных карбидов. Эта структура очень сильно приближается к структуре ковanej стали. Опыты по резанию такими резцами пока не дали четкого ответа



Рис. 43

× 300

об их преимуществах. Но есть основание продолжать эти исследования, т. к. влияние азота на структуру ледебуритных карбидов благоприятно.

На рис. 43 представлена микрофотография резца, наплавленного быстрорежущей сталью с добавлением 15% С₀ от веса наплавленного ме-



Рис. 44

× 300

талла. Резец был трижды отпущен при 570° с выдержкой каждый раз по 1 часу.

Структура наплавки с 15% кобальта весьма интересна. Прежде всего характерно относительно меньшее количество первичных карбидов по сравнению с любой наплавкой, нелегированной кобальтом. За счет меньшего количества первичных карбидов сетка ледебурита имеет характер легкого кружева исключительно тонкого строения. Строение эвтектики удается различить только при увеличении 1000. Здесь мы имеем более разорванную сетку карбидов по сравнению со всеми ранее приведенными структурами. Сетка карбидов прерывается, давая лишь легкие очертания аустенитного зерна.

За исключением небольших островков тонкого кружева эвтектики основная металлическая масса имеет структуру мелкоигльчатого мартенсита, являющегося продуктом распада легированного кобальтом аустенита. С точки зрения структуры высокие режущие качества резца с 15% кобальта можно объяснить с одной стороны тем обстоятельством, что кобальт повышает растворимость карбидов в основной массе. Кобальт повышает содержание углерода в аустените, и количество первичных карбидов будет меньше.

С другой стороны, мартенсит, легированный кобальтом, тверже и более термически устойчив.

На рис. 44 для сравнения со структурой наплавов приведена структура литого сплава типа стеллита (акрит). Если в стеллите режущей частью являются карбиды, то в наплавленных резцах режущие свойства определяются не только карбидами, но и мартенситной частью структуры. При сравнении микрофотографий стеллита и наплавов для последних характерна значительно меньшая величина зерен карбидов и их изолированность друг от друга.

7. Изменение химического состава быстрорежущей стали при наплавке

Кроме металлографического анализа, производился химический анализ наплавов. Не приводя все произведенные анализы, кроме помещенных в этой главе, можно сделать следующие выводы. При всех условиях наплавки угольным электродом с различными видами формовки и применением разных флюсов следует отметить несколько повышенное содержание углерода в наплавке по сравнению с содержанием углерода в исходной стружке быстрорежущей стали. Это увеличение содержания углерода не превышает 0,2%. По литературным данным такое повышение содержания углерода даже желательно; обычное содержание углерода в современных быстрорежущих сталях можно считать заниженным. [24]

Как показали лабораторные и заводские опыты, повышенное содержание углерода не отражается на стойкости резцов, наплавленных быстрорежущей сталью угольным электродом. Если мы обратимся к теоретической металлургии и воспользуемся данными о теплотах образования отдельных окислов, то в первом приближении можно считать, что по скорости выгорания отдельные элементы в соответствии с теплотами образования их окислов распределяются в соответствии с приведенными ниже данными [25].

Следует, однако, заметить, что данное предположение делается в первом приближении, т. к. не учитывается концентрация элементов в стали и защищающее влияние алюминия.

Теплота образования окислов

Элемент	Окисел	Теплота образования в кал/моль
Al	Al_2O_3	500
B	B_2O_3	352
Cr	Cr_2O_3	338
V	V_2O_5	263
Si	SiO_2	252
W	WO_3	158
Fe	FeO	79
Co	CoO	72
Ni	NiO	72

Исходя из этих примерных соображений, можно полагать, что при наплавке не будет выгорать C_0 и Ni . Слабо будет выгорать W и V и сильнее всего Cr .

8. Заключение

Вопрос о связи режущих качеств резца с его микроструктурой очень сложен. Если можно утверждать, что грубые ледебуритные карбиды вызывают хрупкость резца, то гораздо сложнее вопрос о влиянии степени легированности мартенсита на процесс резания. Мы не ставили перед собой задачу связать структуру резца с его режущими качествами. Для этого потребовалось бы широкое и специальное исследование.

Мы преследовали цель показать приведенными микрофотографиями, что наши структуры более мелки, чем структуры крупных слитков, и по величине зерна приближаются к кововой стали, но элементы литой структуры, конечно, имеются. Испытание сотен наплавленных резцов показало их прекрасные режущие свойства. Это заставляет нас особенно внимательно относиться к свойствам малых слитков и вести дальнейшую работу по изучению кристаллизации малых объемов металла, имеющей свои специфические и весьма важные особенности.

ГЛАВА IV

Испытание наплавленных резцов

Испытания наплавленных резцов должны были выявить их режущие качества. Испытания были проведены как в лабораторной, так и в производственной обстановке. Тех или других в отдельности нельзя было считать достаточными для исчерпывающего суждения о качестве наплавленных резцов. Лабораторные испытания проводятся в идеальной обстановке на стабильном хорошо отрегулированном станке, при отсутствии вибраций, по чистой предварительно ободранной болванке, при постоянстве глубины резания, с тщательным контролем скорости резания и с минимальными допустимыми ее колебаниями, с систематическим контролем твердости болванки как по длине ее, так и по поперечному сечению, с тщательной заточкой и установкой резца, с точным определением момента окончательного затупления его и т. д. Лабораторные испытания дают возможность точно выявить режущие качества резцов и сравнить их с какими-либо другими резцами. Проведение таких испытаний на производстве в условиях цеховой обстановки невозможно, хотя бы потому, что для их выполнения требуется станок с бесступенчатым регулированием скоростей и с постоянным их контролем, а также и потому что в условиях производственной работы, и в особенности на обдирочных операциях, приходится неизбежно встречаться с наличием на поверхности болванки окалины, корки и загрязненных мест, с различной в некоторых пределах твердостью обрабатываемого материала, с биением болванки на центрах и, благодаря этому, с переменной глубиной резания, с наличием ударов и вибраций, с различным качеством заточки резца, нередко выполняемой без охлаждения и сопровождающейся прижогами, и с другими трудно учитываемыми обстоятельствами, в той или иной степени влияющими на стойкость режущего инструмента. Поэтому с одной стороны для точного суждения о режущих качествах резцов необходимо их лабораторное испытание, с другой стороны одни лабораторные испытания не дают возможности судить о полной пригодности резцов для работы в производственных условиях со всеми сопутствующими им обстоятельствами.

Поэтому же лабораторные и производственные испытания не всегда дают одинаковые количественные результаты.

Учитывая это, нами было проведено три рода испытаний наплавленных резцов:

1) лабораторные испытания для выявления режущих качеств наплавленных резцов и для сравнения их с режущими качествами резцов с пластинками из быстрорежущей стали РФ-1, подвергнутыми оптимальной термической обработке;

2) лабораторные испытания для сравнения наплавленных резцов с обычно применяемыми на производстве резцами с пластинками быстрорежущей стали РФ-1 с заводской термической обработкой;

3) производственные испытания наплавленных резцов в условиях цеховой обстановки на нормальных производственных операциях.

Такой порядок испытаний давал исчерпывающие сведения и о режущих качествах, и о производственной пригодности наплавленных резцов.

I. Лабораторные испытания наплавленных резцов

1. УСЛОВИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ ИСПЫТАНИЙ

Испытания проводились в лаборатории резания металлов Томского политехнического института на токарном станке ДИП-30. Станок снабжен мотором постоянного тока с бесступенчатым регулированием числа оборотов в пределах 1,3:1, что перекрывает знаменатель прогрессии ряда чисел оборотов станка ($G = 1,26$) и дает возможность на шпинделе получить в известных пределах любое число оборотов и поддерживать необходимое его постоянство. Шпиндель станка снабжен точным стационарным тахометром с крупной шкалой, что дает возможность устанавливать и поддерживать постоянство скорости с отклонениями не превышающими 1%. Мощность мотора 20 кв, мотор связан со станком клиноременной передачей, фрикционная муфта станка усилена против обычной у модели ДИП-30. Все это дает полную стабильность скоростей. Мы останавливаемся на этих обстоятельствах, т. к. они являются решающими для успешности испытаний.

Геометрия всех резцов, проходивших испытания, была следующей:

Передний угол	$\gamma = 18^\circ$
Главный задний угол	$\alpha = 10^\circ$
Вспомогательный задний угол	$\alpha_1 = 10^\circ$
Главный угол в плане	$G = 75^\circ$
Вспомогательный угол в плане	$G_1 = 15^\circ$
Радиус закругления носика	$r = 1,0 \text{ мм.}$
Сечение тела резца	$16 \times 24 \text{ мм.}$

Главный угол в плане был взят значительной величины с тем, чтобы снизить расход металла при испытании и чтобы исключить возможность вибраций болванки.

Почти во всех испытаниях стойкость наплавленных резцов сравнивалась со стойкостью резцов с приваренными пластинками быстрорежущей стали РФ-1. Для этого была изготовлена партия резцов с пластинками РФ-1 тех же размеров и с той же геометрией. Эти резцы были подвергнуты следующей термической обработке:

Температура закалки 1280° , закалка в масле.

Температура отпуска 550° . Отпуск трехкратный по 1 часу.

Твердость после отпуска $R_c = 64-65$.

Резцы с твердостью ниже $R_c = 64$ в испытаниях не допускались. Пластинки для этой партии резцов были изготовлены из одного прута стали РФ-1, что обеспечивало высокую однородность их режущих качеств.

Все резцы затачивались и перетачивались на станке типа „ГИШОЛТ“ с обильным охлаждением. Никакой доводки после заточки не производилось. Следов прижога после заточки не допускалось. При переточках после затупления снимался весь пораженный слой.

Лабораторные испытания наплавленных резцов проводились по следующим материалам: сталь 45, с твердостью $H_B = 180-200$, сталь углеродистая с твердостью $H_B = 240-250$, сталь хромистая 40X с твердостью $H_B = 200$. Следует отметить, что различные испытания производились на различных болванках, в ряде случаев даже при одной твердости имеющих различную обрабатываемость. Поэтому какие либо сравнения и заключения можно было делать в пределах опытов, проведенных по одной болванке, что в дальнейшем везде и принято во внимание. Постоянство твердости контролировалось как по длине болванки, так и по поперечному сечению ее, причем отклонение твердости по одной болванке допускалось в пределах ± 5 единиц по шкале Бринеля.

Условия резания во всех без исключения опытах были следующими: глубина резания $t = 2$ мм, подача $S = 0,2$ мм/об.

Опыты проводились без охлаждения.

Работа велась по предварительно обточенной поверхности. Таким образом, был принят получистовой режим. Это было сделано с целью экономии расходуемой на испытания стали.

Нужно принять во внимание, что соотношение режущих качеств различных быстрорежущих сталей (особенно малолегированных) при разных условиях испытания могут быть различными. Так, например, сталь ЭИ-262 при работе по стали 45 с твердостью $H_B = 183-192$ при чистовых стружках показывает более высокие режущие качества, чем сталь РФ-1, при обдирочных же стружках одинаковые со сталью РФ-1. При работе по стали ОХМ с твердостью $H_B = 217-228$ сталь ЭИ-262 уступает стали РФ-1 как при чистовых, так и при обдирочных стружках, причем при обдирочных более значительно, чем при чистовых. [26].

Учтя это, мы проводили большинство испытаний по сталям высокой твердости, тем самым поставив испытуемые наплавленные резцы в возможно более невыгодные условия по сравнению с резцами РФ-1. Нас можно упрекнуть в том, что все испытания были проведены на получистовых стружках и что в испытаниях совершенно отсутствовал чугун, как обрабатываемый материал. Эти пробелы нами были заполнены при производственных испытаниях, которые, как это в дальнейшем будет видно, были проведены и по чугуну, и при обдирочных режимах по сталям.

Критерием затупления при лабораторных испытаниях принималось полное разрушение режущей кромки резца.

При всех испытаниях мы не удовлетворялись сравнением стойкостей при одинаковых скоростях резания, а проводили испытания при ряде скоростей и строили графики VT (скорость—стойкость), что давало возможность наиболее полно судить о режущих качествах сравниваемых резцов. Мы убедились, что при однородных резцах, постоянной, с незначительными колебаниями твердости, болванке и при условии тщательного сохранения постоянства скорости на протяжении каждого опыта, все опыты со стойкостями начиная с 2—3 минут очень хорошо укладываются в общую закономерность. Поэтому мы не следовали указанию, что стойкость резца при проведении опытов должна быть не ниже 10 минут, высказанному в „общих методиках по исследованию режимов резания“ [27], и считаем его не всегда верным.

Переходим к непосредственному изложению результатов лабораторных испытаний наплавленных резцов.

2. Испытание резцов, наплавленных сталью РФ-1 в графитовой форме

На рисунке 45 представлены результаты испытания резцов, наплавленных на переменном токе в графитовой форме с бурой в виде флюса. Резцы, фигурировавшие в этих испытаниях, были самыми первыми из приготовленных путем наплавки. При изготовлении их еще не применялся алюминий в виде раскислителя, и резцы обычно имели некоторую пористость.

Термическая обработка этих резцов состояла в трехкратном отпуске при температуре 550° с выдержкой по 1 часу. Следует обратить внимание на то, что 10 опытных точек на графике получены испытанием 8 резцов. График показывает хорошее расположение опытных точек относительно проведенной прямой, что говорит о вполне стабильном качестве резцов, полученных уже при первых опытах наплавки.

При испытании этих резцов мы не проводили сравнения их с резцами с пластинками РФ-1. Но если взять последние нормативные данные по режимам резания для резцов из стали РФ-1, то можно убедиться в том, что нормативная прямая точно совпадает с прямой, проведенной на графике по опытным точкам. Это указывает на соответствие режущих качеств наплавленных резцов режущим качествам резцов с пластинками РФ-1. Все опыты с этими резцами были проведены на болванках стали 45, взятых от одного прута и обладающих одинаковой твердостью.

Ввиду получающейся пористости были предприняты изыскания мер борьбы с нею. Как указано было ранее, введение алюминия в виде раскислителя стало давать слой наплавленного металла плотный и без пор. Было проведено испытание первых резцов, полученных с введением алюминия. Результаты этих испытаний представлены на рис. 46. Здесь различными обозначениями (кружок, квадрат, треугольник, крестик) обозначены результаты испытаний четырех резцов. График показывает, что и здесь, так же как на рисунке 45, получены достаточно стабильные результаты для всех участвовавших в испытаниях резцов. Резцы эти были наплавлены в графитовой форме с бурой в виде флюса. Термическая обработка резцов та же, что указана выше. Количество вводимого алюминия точно в этом случае не контролировалось.

В дальнейшем были предприняты опыты по выявлению влияния количества вводимого при наплавке алюминия на режущие качества резцов. Это было необходимо ввиду того, что имеются соображения, говорящие о вредном влиянии алюминия на режущие качества быстрорежущей стали. Гуляев указывает, что „алюминий очень вредно отражается на режущих свойствах стали, так как его главное влияние сказывается в уменьшении растворимости карбидов в аустените при высокой температуре: 0,3% алюминия уже достаточно, чтобы заметным образом снизить стойкость стали“.

Хорошие результаты в смысле получения беспористых плотных наплавов достигались надежно при введении 2—3% алюминия от веса нап-

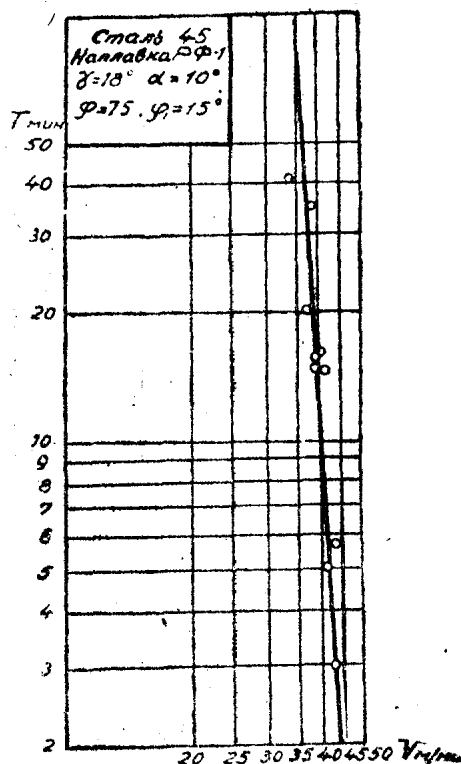


Рис. 45

наплавляемого металла. Поэтому были изготовлены резцы с введением в наплавку алюминия в количествах 0%; 0,2%; 0,7%; 1,0%; 2,5%; 3,5%; 4,0%. Наплавка этих резцов была произведена переменным током в графитовой форме с бурой в виде флюса. После наплавки резцы прошли нормальный режим отпуска—3 раза по 1 часу при 550°. Результаты испытания этих резцов представлены на рис. 47. Рисунок показывает исключительно хорошее расположение опытных точек и дает возможность сделать вполне

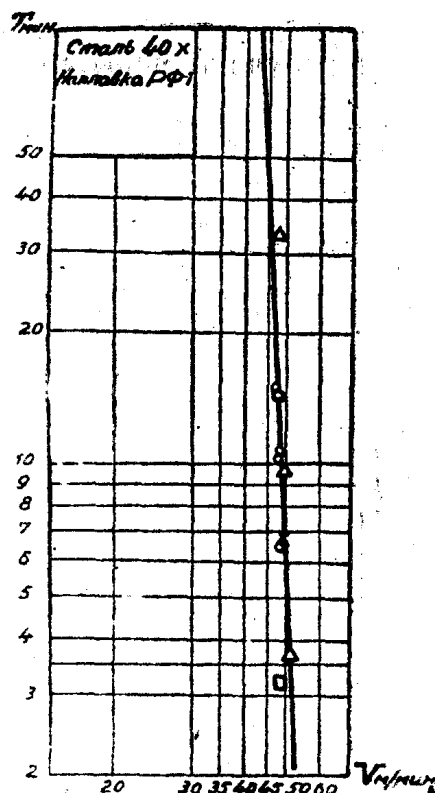


Рис. 46

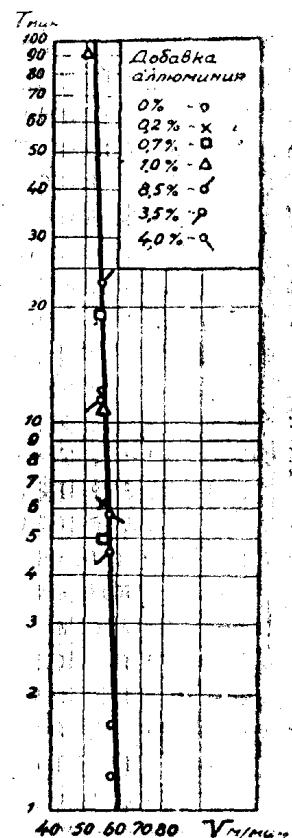


Рис. 47

уверенное заключение о том, что введение алюминия от 0% до 4% от веса наплавляемого металла совершенно не сказывается на режущих качествах инструмента. Весь алюминий, повидимому, выгорает, и лишь следы его были замечены при спектральном анализе.

Кроме алюминия, нами было испробовано для получения плотного слоя наплавки введение кремния. Введение кремния точно также давало наплавленный слой без пор, но с меньшей надежностью. Кроме того оказалось, что резцы, наплавленные с кремнием в виде раскислителя, давали более низкие режущие качества. Это видно из таблицы 14, где приведены стойкости резцов, наплавленных с тем и другим раскислителем, полученные в результате испытания по стали 40X при одной и той же скорости резания.

На основании этого во всех дальнейших опытах по наплавке резцов в графитовой форме производилось введение алюминия в количестве около 3% от веса наплавленного металла, что давало плотный слой и не оказывало никакого влияния на режущие качества резцов. Это количество раскислителя мы рекомендуем и для производства. Заключение об отсутствии вредного влияния алюминия на режущие качества наплавленных резцов мы сделали на основании опытов, проведенных лишь по одному металлу. Но в дальнейшем все наплавленные резцы раскислялись алюминием и

Таблица 14

Скорость резания м/мин.	Стойкость в минутах	
	Резцы, наплавленные с алюминием	Резцы, наплавленные с кремнием
48,5	11,0 10,3 10,9	1,75 3,2 2,5
средняя стойк.	10,7	2,5

как будет видно, они при испытаниях на других сталях, а в производственных испытаниях и на чугунах и латуни, дали столь же хорошие результаты.

Во всех ранее приведенных опытах наплавленные резцы не проходили специальной закалки, а после операции наплавки, будучи вынуты из формы, охлаждались в спокойном воздухе. Мы произвели опыт закалки наплавленных резцов в масле. Для этого резец, наплавленный в графитовой форме, быстро освобождался из формы и сразу же после застывания расплавленного металла опускался в масло. После этого следовал нормальный трехкратный отпуск при 550° . Результаты сравнительных испытаний таких резцов по стали 40 X приведены в табл. 15.

Таблица 15

Скорость резания м/мин.	Стойкость	
	Резцы, охлажденные на воздухе	Резцы, закаленные в масле
48,5	10,0 10,8 10,9	10,9 12,0 10,0
Средняя стойкость	10,7	10,9

Таблица 15 показывает, что закалка в масле не дала сколько-нибудь существенного повышения стойкости. Поэтому все дальнейшие опыты проводились нами без специальной закалки наплавленных резцов.

Далее мы приводим на рисунке 48 результаты испытания наплавленных резцов по твердой стали с $H_B=240$. Резцы наплавлились в графитовой форме с бурой в виде флюса и с раскислением алюминием. Перед тем как провести отпуск этих резцов, они были опробованы на твердость дюрометром Роквелла (алмазным конусом при нагрузке 150 кг), затем неотпущенные резцы были подвергнуты испытанию на стойкость, затем они же были подвергнуты нормальному трехкратному отпуску при 550° и опять после отпуска подвергнуты испытанию на стойкость.

В табл. 16 приведены результаты испытания этих резцов сразу после наплавки (до отпуска) и после трехкратного отпуска при 550° .

Таблица 16 показывает, что резцы, получаемые наплавкой в графитовой форме, сразу после наплавки (до отпуска) получают в большинстве случаев очень высокую твердость, что, по видимому, может быть объяснено как повышенным содержанием углерода, переходящего в металл из

Таблица 16

№ резца	Твердость Rc	
	До отпуска	После отпуска
11	63—66	68—70
12	65—67	65—67
13	65—66	68—69
14	63—64	67—68
16	62—63	67—68
17	58—59	64—67
111	64—65	
112	64—65	

графитовой формовки, так и легированием наплавки бором, могущим восстанавливаться из флюса-буры, в условиях сварочного фокуса, о чем уже упоминалось. Отпуск еще повышает твердость, причем тем более значительно, чем ниже была твердость до отпуска, т. е. чем больше сохрани-

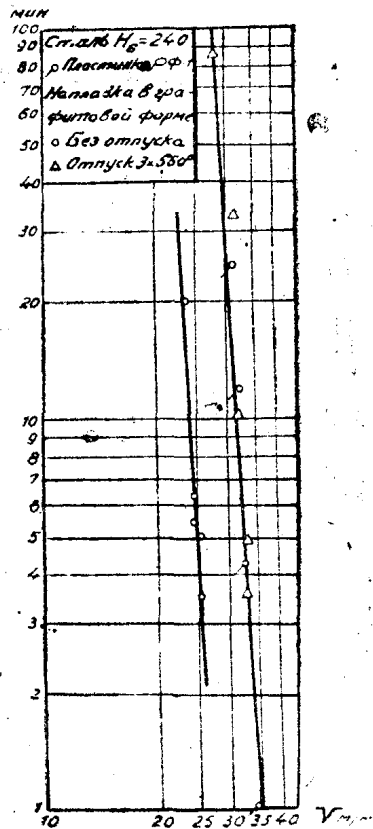


Рис. 48

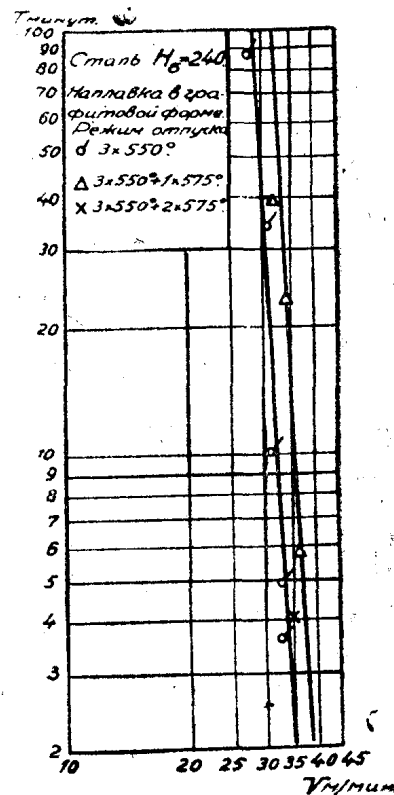


Рис. 49

лось после охлаждения (закалки) аустенита в структуре быстрорежущей стали.

Рисунок 48 дает очень интересные результаты испытаний на стойкость этих резцов. Несмотря на то, что твердость до отпуска очень высока, для большинства наплавленных резцов лежит в пределах 63—65, т. е. не уступает твердости окончательно термически обработанных резцов с пластинками из стали РФ-1 (закаленных и отпущенных), режущие качества наплавленных резцов, не прошедших отпуска, значительно ниже, чем ре-

жушие качества их после отпуска. На рисунке 47 показаны также результаты испытания резцов с пластинками РФ-1 из партий, специально изготовленной для этих сравнительных испытаний. Рисунок 48 показывает, что наплавленные резцы, подвергнутые отпуску, совершенно не уступают нормальным быстрорежущим резцам. В том же случае, когда отпуск отсутствует, стойкость падает примерно в 100 раз, скорость же должна быть уменьшена для сохранения постоянной стойкости на 25%. Ранее мы показали, что наплавленные резцы не требуют специальной закалки, и, если даже она проведена, то это ничего не изменяет в их режущих качествах. Рисунок 48 говорит о чрезвычайной важности отпуска для наплавленных резцов, как и для обычных быстрорежущих сталей.

Кроме нормального трехкратного отпуска при температуре 550° , мы испробовали на этих же резцах четырехкратный и пятикратный отпуск по следующим схемам: четырехкратный—три отпуска по 1 часу при 550° и один час при 575° , пятикратный—три отпуска по одному часу при 550° и два по одному часу при 575° . Результаты испытания этих резцов приведены на рис. 49, из которого следует, что эти схемы отпуска дают дополнительное заметное повышение стойкости, особенно четырехкратный отпуск. Мы, конечно, далеко не исчерпали этой пробой всех возможных схем отпуска, но этот опыт указывает на то, что повышение температуры отпуска до 575° не ухудшает режущих качеств наплавленного инструмента. Тем самым устанавливаются более широкие габариты температуры отпуска, что является удобным для производства.

Все представленные выше результаты испытаний относились к резцам, наплавленным в графитовой форме переменным током. Представляло несомненный интерес сравнить эти резцы с резцами, наплавленными постоянным током. Это сравнение проведено на рис. 50. Режим наплавки и отпуска был одинаковым для тех и других резцов, испытание проводилось по стали 40 X. Следует лишь отметить, что, в то время как резцы, наплавленные на переменном токе, наплавливались в лаборатории металловедения Томского политехнического института, резцы, наплавленные на постоянном токе, были взяты для испытаний с одного из заводов, на котором был внедрен и освоен способ наплавки резцов угольным электродом. Там эти резцы наплавливались по обычному разработанному нами техпроцессу в графитовой форме с бурой в качестве флюса, с раскислением алюминием и проходили нормальный трехкратный отпуск при 550° . Резцы, поступившие на испытание, не готовились специально для этой цели, а были взяты из большой партии, изготовленной для обычной производственной работы. Рисунок 50 показывает, что резцы, наплавленные на постоянном токе, показали высокие режущие качества, даже несколько превосходящие режущие качества резцов, наплавленных на переменном токе. Практически можно считать, что род тока на режущие качества резцов влияния не оказывают.

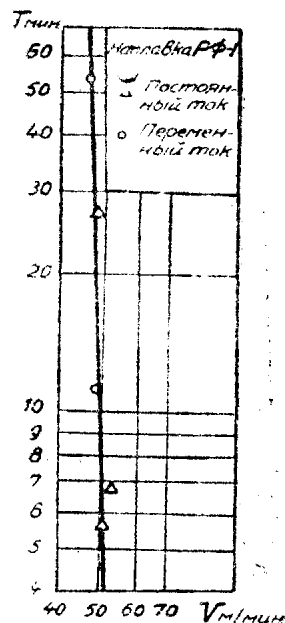


Рис. 50

3. Испытание резцов, наплавленных сталью РФ-1 в шамотной форме

Наплавка в мелкораздробленном шамоте с добавкой огнеупорной глины может проводиться как с бурой в виде флюса, так и с смесью мрамора с плавиковым шпатом. Второй вид флюса дает более стабильную

дугу, и в случае переменного тока процесс наплавки выполняется более легко. Алюминий также добавляется в виде раскислителя для получения плотного наплавленного слоя.

Прежде всего представляет интерес сравнение режущих качеств резцов, наплавленных в графитовой и в шамотной форме. Резцы, наплавленные в шамотной форме, закалке не подвергались, проходили нормальный трехкратный отпуск при 550° и имели твердость указанную в табл. 17.

Таблица 17

№ резца	Твердость Rc	
	До отпуска	После отпуска
21	60—61	64
22	61—62	65
31	61	64—65
32	58—59	63—65
33	62—64	65—66
44	60—62	66—67

Таблица 17 показывает, что твердость при наплавке в шамоте как до отпуска, так и после отпуска получается ниже, чем при наплавке в графитовой форме.

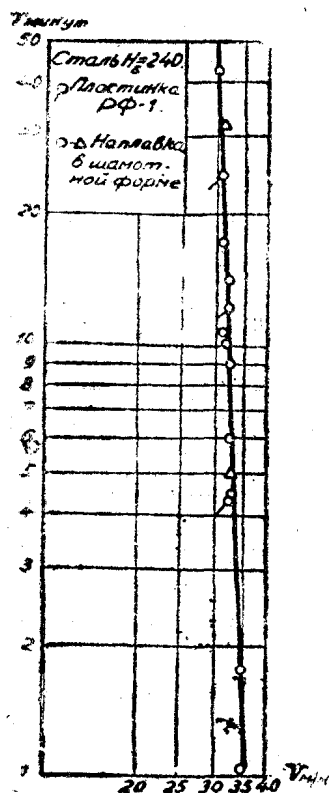


Рис. 51

Испытание резцов, наплавленных в шамоте, было проведено по стали с твердостью $H_B = 240$ и представлено на рис. 51. Здесь кружками обозначены результаты испытания резцов, наплавленных с мрамором и плавиковым шпатом в виде флюса, треугольниками — наплавленных с бурой. Род флюса режущих качеств не изменяет. На этом же рисунке приведены результаты испытания резцов с пластинками РФ-1. Рисунок показывает, что нет никакой разницы между наплавленными резцами и резцами с пластинками РФ-1.

Опыты, представленные на рис. 51, были проведены на той же самой болванке, на которой проводились испытания резцов, наплавленных в графитовых формах, результаты которых были показаны на рис. 48. Сравнение этих двух рисунков показывает, что совершенно никакой разницы между теми и другими резцами в отношении их режущих качеств нет, несмотря на замеченную разницу в твердости.

Необходимо далее было провести исследование влияния на режущие качества количества вводимого алюминия при наплавке в шамоте. Для этого были изготовлены резцы с введением при наплавке алюминия в количе-

ствах 1%, 3%, 6% и 10% от веса наплавленного металла. Твердость полученных при этом резцов иллюстрируется таблицей 18.

Табл. 18 показывает, что твердость после отпуска при большом количестве добавляемого алюминия заметно снижается. Эти резцы были подвергнуты нормальному трехкратному отпуску при 550° . Результаты испытания их на стойкость представлены на рис. 52, из которого следует, что

резцы с добавкой алюминия при наплавке до 3% точно совпадают по своим режущим качествам с резцами с пластинками РФ-1. Увеличение же добавки алюминия до 6% уже чрезвычайно сильно снижает режущие качества, приближая их к углеродистой стали; дальнейшее увеличение до-

Таблица 18

№ резца	Добавка алюминия %	Твердость Rc	
		До отпуска	После отпуска
42	1,0	56—58	66—67
43	3,0	60—62	66—67
45	6,0	60—62	63—65
47	10,0	60	60—62

бавки алюминия еще более ухудшает их. Поэтому и при наплавке в шамоте оптимальным количеством добавляемого алюминия следует считать

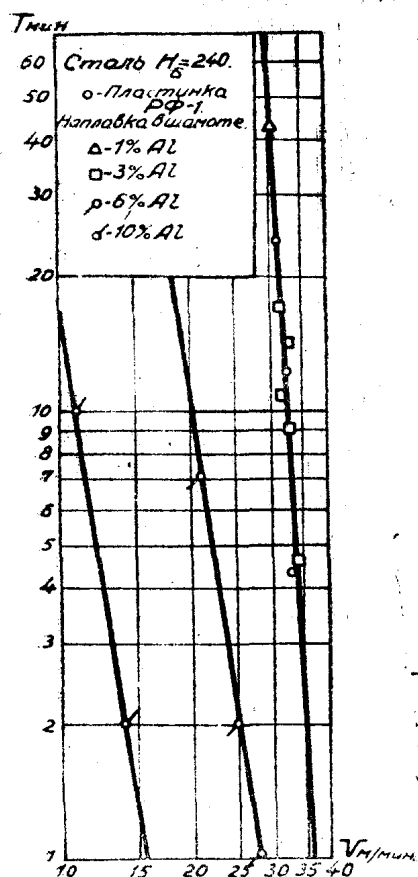


Рис. 52

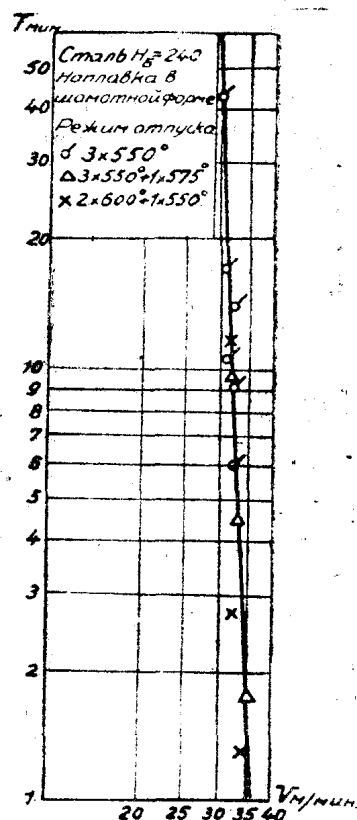


Рис. 53

около 3%. Это количество алюминия с одной стороны дает плотную наплавку без пор, с другой стороны не снижает режущих качеств резцов.

Выше мы видели (рис. 49), что при наплавке в графитовой форме добавочный отпуск при 575° несколько повышает стойкость резцов. Исследование этого вопроса в приложении к резцам, наплавленным в шамоте, дало несколько иные результаты. Было испробовано, кроме основной, еще

две схемы отпуска: после трехкратного отпуска при 550° один добавочный при 575° и двухкратный отпуск при 600° плюс один отпуск при 550°. Результаты испытания таких резцов даны на рис. 53, который показывает, что практически все три схемы дают резцы с одинаковыми режущими качествами. Вторая схема дает незначительное снижение режущих качеств резцов.

Все описанные выше наплавки в шамоте были произведены на переменном токе, т. к. ранее было выяснено, что род тока не оказывает влияния на качество резцов.

4. Испытание резцов, легированных при наплавке никелем и кобальтом

Процесс легирования наплавляемого слоя при наплавке угольным электродом чрезвычайно прост. Если при наплавке металлическим электродом для легирования должна готовиться специальная обмазка электродов, то при наплавке угольным электродом легирующий элемент просто вводится в измельченном виде в наплавляемый металл.

Ввиду такой простоты введение легирующих элементов может применяться при наплавке угольным электродом не только с целью непосредственного получения легированных наплавов на режущем инструменте, но и с целью подбора и исследования специальных составов режущих сплавов, сопровождая в этом случае наплавку обязательным химическим и металлографическим анализами, испытанием твердости, определением режущих качеств и т. д.

Мы провели несколько опытов по легированию стали при наплавке резцов никелем, молибденом и кобальтом, причем, конечно, эти опыты не претендуют пока на сколько-нибудь исчерпывающую полноту и систематичность. Этот вопрос должен послужить предметом специальной работы. Нами испытаны резцы с добавкой 1% и 2% никеля и 5%, 10% и 15% кобальта. Основным металлом наплавки была сталь РФ-1. Наплавка проводилась в шамотной форме с флюсом из смеси мрамора с плавиковым шпатом, раскисление проводилось добавкой алюминия в количестве около 3% от веса наплавляемого металла. После наплавки специальной закалки не производилось, напавленные резцы остывали в спокойном воздухе. За наплавкой следовал трехкратный отпуск при 570° длительностью по одному часу. Наплавка производилась на переменном токе.

Результаты измерения твердости приведены в табл. 19.

Таблица 19

№№	Состав легирующего элемента	Количество легирующего элемента в % к весу наплавляемого металла	Твердость Rc	
			До отпуска	После отпуска
1	Никель	1,0	59—60	65—66
2	"	2,0	60	63—65
3	Кобальт	5,0	61—63	63—67
4	"	10,0	64—66	65—66,5
5	"	15,0	62—64	64—66

Результаты испытания режущих качеств резцов с легированными наплавками иллюстрируются рисунками 54 и 55.

Из рисунка 54 следует, что добавка никеля в количестве 1 и 2% совершенно не изменяет режущих качеств резцов, и их стойкостная характеристика точно совпадает с резцами с пластинками РФ-1, а значит и с резцами, напавленными сталью РФ-1.

Рис. 55 показывает влияние легирования кобальтом на режущие свойства наплавленных резцов. Из рисунка следует, что повышенное содержание

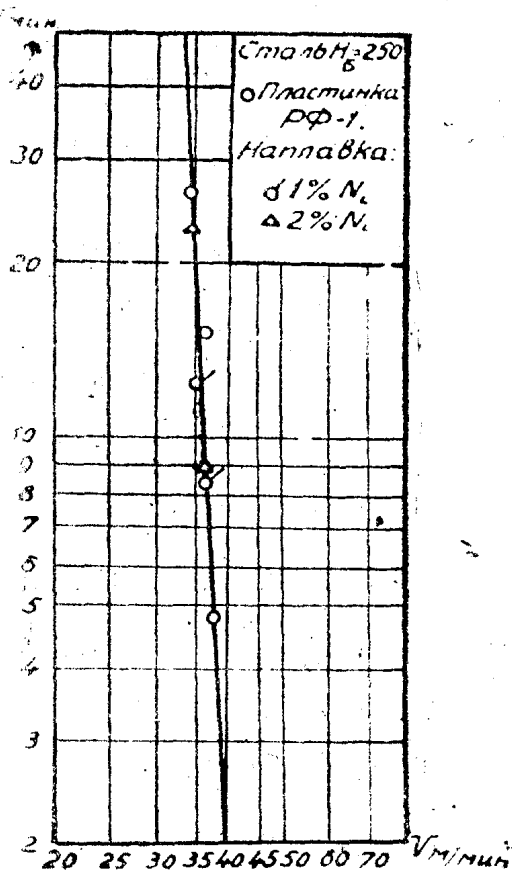


Рис. 54

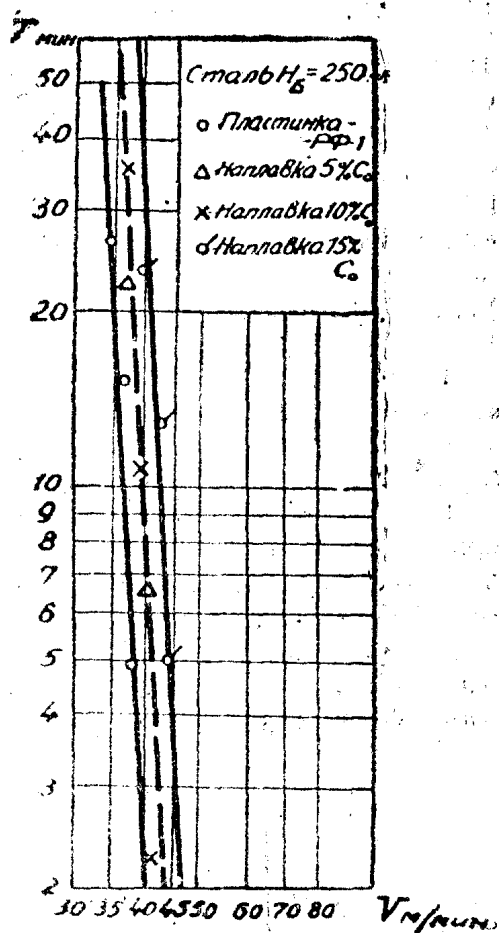


Рис. 55

жание кобальта значительно повышает стойкость наплавленных резцов и существенно повышает допустимые скорости резания. Разница в эффекте

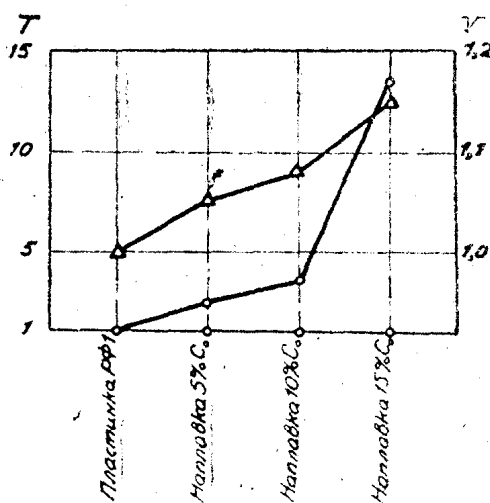


Рис. 56

добавки 5% и 10% кобальта мало заметна, добавка же 15% кобальта сразу дает заметное улучшение режущих качеств в сравнении с 5 и 10%.

на рисунке 56 на основании рисунка 55 дается график, иллюстрирующий повышение стойкости и скорости резания для наплавленных резцов, легированных кобальтом, в сравнении с резцами с пластинками РФ-1.

Из рисунка видно, что добавка кобальта в количествах 5%, и 10% и 15% повышает стойкость по сравнению с пластинками РФ-1 соответственно в 2,5 раза, 3,5 раза и 14 раз и скорость резания на 5%, 9% и 15, 5%. Это примерно соответствует данным Гудремона и Шрадер относительно влияния кобальта на производительность быстрорежущей стали. [28] Можно ожидать, что при тяжелых обдирочных стружках влияние кобальта было бы еще более существенным.

5. Испытание резцов, наплавленных малолегированными быстрорежущими сталями

Представляло значительный интерес опробование резцов, наплавленных малолегированными заменителями быстрорежущей стали. Нами были испробованы для наплавки резцов наиболее распространенные малолегированные стали ЭИ-184 и ЭИ-262.

Наплавка резцов этими сталями производилась в шамотной форме с жаромором и плавиковым шпатом в виде флюса и с добавкой алюминия для раскисления. Наплавка выполнялась на переменном токе. После наплавки следовал трехкратный отпуск при температуре 550°.

Для наплавки были использованы как стали ЭИ-184 и ЭИ-262 в чистом виде, так и в виде смеси со сталью РФ-1. Составы наплавки и результаты измерения твердости наплавленных резцов приведены в табл. 20.

Таблица 20

№№	Состав наплавки	Твердость Rc	
		До отпуска	После отпуска
1	ЭИ-184	52—54	62—63
2	75% ЭИ-184 + 25% РФ-1	57—59	63,5—65
3	50% ЭИ-184 + 50% РФ-1	61—62	65—66
4	ЭИ-262	56—57	62—64
5	75% ЭИ-262 + 25% РФ-1	61—62	64—65

Резцы, наплавленные как чистыми малолегированными сталями, так и в смеси с РФ-1, испытывались по болванкам стали с НБ-240. Испытания этих резцов показали, что резцы, наплавленные сталью ЭИ-184 в чистом виде, имеют сниженные по сравнению с РФ-1 режущие качества.

Другой эффект получается, если при наплавке к стали ЭИ-184 добавить сталь РФ-1. На рис. 57 приведены результаты испытания резцов, наплавленных смесью из 50% ЭИ-184 и 50% РФ-1, а на рис. 58 результаты испытания резцов, наплавленных смесью из 75% ЭИ-184 и 25% РФ-1. Из рисунков следует, что уже добавка только 25% РФ-1 дает резцы, приближающиеся к резцам из РФ-1, а добавка 50% РФ-1 дает наплавленные резцы совершенно не уступающие резцам из РФ-1.

Это обстоятельство имеет очень существенное значение, т. к. смешивание сталей при наплавке угольным электродом не представляет никаких затруднений и позволяет использовать заменитель ЭИ-184 для получения высококачественных резцов. Если принять во внимание, что резцы с пластинками из ЭИ-184 при наилучшей их термической обработке по сравнению с резцами с пластинками РФ-1 дают 85—90% производительности, то можно заключить, что наплавленные резцы из смеси 75% ЭИ-184 и 25% РФ-1 полностью заменяют резцы с пластинками из ЭИ-184, а при до-

бавке 50% РФ-1 получают напавленные резцы с превосходящими их режущими качествами.

На рис. 58 приведены также результаты испытания резцов напавленных сталью ЭИ-262 и смесью из 75% ЭИ-262 и 25% РФ-1. Рисунок показывает, что разницы в режущих качествах этих резцов нет. По сравнению же с резцами с пластинками РФ-1 эти напавленные резцы дают некоторое небольшое снижение. Это снижение по скорости резания может быть оценено примерно в 5—7%, т. е. оно будет приблизительно та-

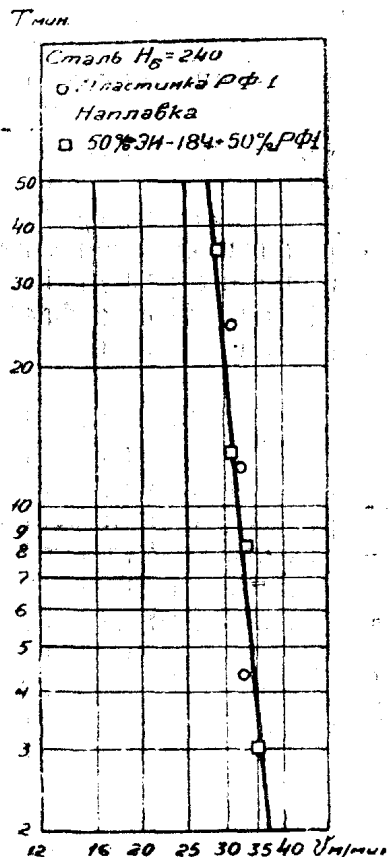


Рис. 57

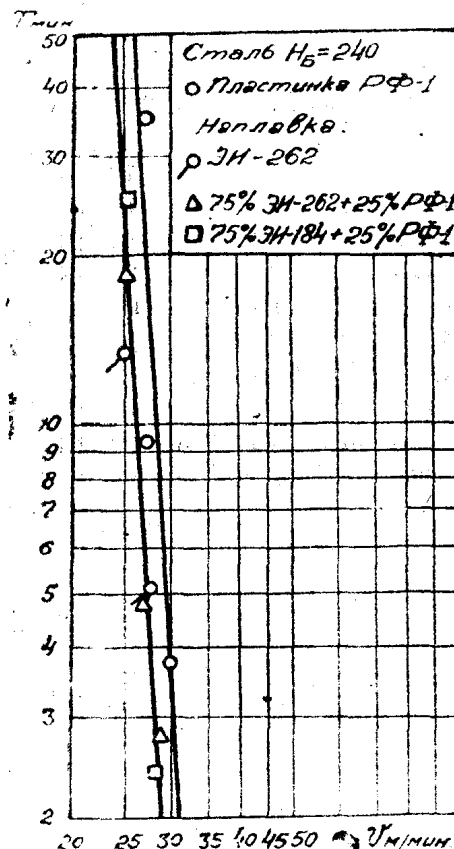


Рис. 58

ким же, как у резцов с пластинками из стали ЭИ-262 при обработке твердых сталей, что мы и имели в данном случае.

Исходя из этого, можно считать, что наплавка стали ЭИ-262 дает вполне качественные резцы, полностью заменяющие резцы с пластинками из этой стали.

Существенно здесь отметить, что малолегированные быстрорежущие стали для получения высоких режущих качеств требуют особенно тщательной термической обработки. Пределы закалочных температур для них чрезвычайно узки (обычно $\pm 10^\circ$), и это ставит значительные затруднения при их термической обработке на производстве, отклонение же от оптимальной температуры закалки значительно сказывается на ухудшении режущих качеств инструмента, изготовленного из малолегированных быстрорежущих сталей. Наши опыты по наплавке этих сталей показывают, что напавленные этими сталями резцы обладают высокими режущими качествами, не требуя к тому же проведения специальной операции закалки, что особенно существенно упрощает процесс их изготовления на производстве. Это обстоятельство показывает, что в том случае, когда производство не обладает термическим оборудованием, пользуясь которым можно было бы надежно осуществить узкие пределы закалоч-

ных температур при термической обработке малолегированных быстрорежущих сталей, целесообразно и из прутковой стали ЭИ-184 и ЭИ-262 (а не только из их отходов) изготавливать напавленные резцы.

6. Характер затупления напавленных резцов и сохранение режущих качеств при переточках

Характер постепенного износа и затупления напавленных резцов в процессе резания по существу ничем не отличается от затупления резцов с пластинками РФ-1. На передней грани образуется лунка износа, которая постепенно углубляется и расширяется, постепенно достигает режущей кромки. Примерно с этого момента начинает появляться заметный износ по задней грани. При тех размерах стружки, которые имели место в наших испытаниях, износ по задней грани локализуется у носика резца и наблюдается как по главной, так и по вспомогательной задним граням. Износ по задним граням быстро растет с момента выхода лунки на режущую кромку и к моменту окончательного разрушения режущей кромки обычно достигает величины примерно равной 1 мм (ширина фаски на задней грани). Разрушение режущей кромки в наших испытаниях обычно наступало у носика резца.

Чрезвычайно важным является неизменность режущих качеств напавленных резцов по мере стачивания напавленного слоя. Нами при переточках снимались значительные слои, чтобы полностью удалить пораженный при затуплении резца металл, причем мы наблюдали, что

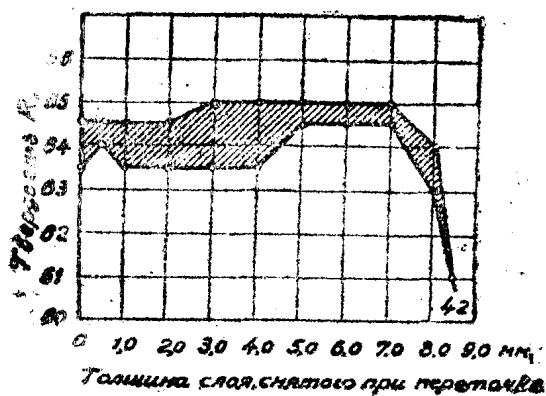


Рис. 59

до момента почти полного удаления всего напавленного металла режущие качества резца совершенно не изменяются. Это объясняется повидимому с одной стороны полной однородностью напавленного слоя, с другой стороны тем обстоятельством, что при хорошей связи между металлом наплавки и державкой резца в тоже время не наблюдается сколько-нибудь значительного перемешивания металлов наплавки и державки, что вы-

ражается резкой границей между тем и другим металлом на шлифе (см. рис. 28).

Нами было произведено измерение твердости на передней грани напавленного резца при постоянном стачивании напавленного слоя. Для этого специально был выбран резец со значительной толщиной напавленного слоя, т. к. в этом случае наиболее рельефно должна была бы выявиться неоднородность слоя по толщине. Результаты измерения твердости представлены на рис. 59. Рисунок показывает, что в пределах толщины слоя в 7—8 мм колебания твердости наблюдаются в пределах 1—1½ единиц шкалы Роквелла, т. е. в пределах точности и чувствительности самого прибора, а на последнем полумиллиметре твердость скачком уменьшается от 63—64 до 42 единиц. Здесь уже имеет место переходный слой металла, толщина которого определяется таким образом лишь долями миллиметра. Если принять во внимание, что для первого измерения твердости с напавленного резца был снят слой толщиной не менее 0,5 мм, то общая толщина напавленного слоя на этом резце измерялась 9—9,5 мм. Такая толщина была получена наплавкой нескольких порций металла. Несмотря на это, измерение твердости показывает исключительную ста-

бильность ее по толщине. Это полностью согласуется и с наблюдениями за сохранением режущих качеств при переточках резцов.

7. Общие итоги лабораторных испытаний наплавленных резцов

Кратко резюмируя результаты лабораторных испытаний наплавленных резцов можно считать установленным, что:

- а) метод наплавки угольным электродом дает резцы высокого качества;
- б) род тока, применяемого при наплавке (постоянный ток или переменный) не оказывает влияния на качество наплавленных резцов;
- в) материал формы не оказывает влияния на качество наплавленных резцов;
- г) состав флюса, применяемого при наплавке (бура или мрамор с плавленым шпатом), не оказывает влияния на качество наплавленных резцов;
- д) оптимальным количеством алюминия, вводимым при наплавке, надежно уничтожающим пористость и раковины в наплавленном слое и не снижающим режущих качеств наплавленных резцов, является около 3% от веса наплавляемого металла. Введение кремния в виде раскислителя дает резцы более низкого качества, как с точки зрения плотности наплавленного слоя, так и с точки зрения их режущих качеств;
- е) специальная закалка после наплавки не дает повышения стойкости и с этой точки зрения не является необходимой;
- ж) отпуск резцов, особенно многократный, после наплавки чрезвычайно сильно повышает их режущие качества и должен быть признан безусловно необходимым;
- з) режущие качества резцов, наплавленных сталью РФ-1, и резцов с пластинками стали РФ-1, совершенно одинаковы;
- и) легирование наплавленных резцов кобальтом значительно повышает их режущие качества;
- к) наплавка резцов малолегированной сталью ЭИ-184 с добавкой от 25 до 50% стали РФ-1 дает резцы с высокими режущими качествами;
- л) наплавка резцов малолегированной сталью ЭИ-262 дает резцы высокого качества, не уступающие резцам из стали ЭИ-262 с оптимальной термической обработкой;
- м) наплавленный слой у резцов обладает высокой однородностью и при стачивании не дает снижения твердости и режущих качеств.

Подводя итоги лабораторных испытаний наплавленных резцов, здесь уместно сделать еще следующие замечания.

Проф. Минкевич в своей книге „Малолегированные быстрорежущие стали“ (Металлургиздат, 1944 г.) чрезвычайно скептически отзывается о возможности получения наплавкой качественного режущего инструмента. Оценивая различные способы армирования резцов (заливка пластинок жидким чугуном, наварка пластинок, механическое крепление и т. д.), относительно наплавки быстрорежущей стали он пишет:

„Под иным углом зрения следует рассматривать вопрос о применении наплавки быстрорежущей стали. Этот способ приводит к созданию литой структуры, более хрупкой и менее удовлетворительной по режущим свойствам и к некоторому, трудно учитываемому в каждом случае, изменению химического состава быстрорежущей стали, а следовательно и к неоднородности режущих свойств в наплавленном инструменте, что и является основным дефектом наплавки. Поэтому способ наплавки нельзя рассматривать как более совершенный способ армирования режущего инструмента, призванный в достаточно широких пределах заменить другие способы“.

Это категорическое заключение является совершенно правильным в отношении наплавки сплавов Конторова [29], которые, как показали сле-

циальные исследования [30], дают непостоянную твердость наплавленного слоя, колеблющуюся в отдельных точках в пределах от 60 до 64 единиц Роквелла по шкале *C*, неоднородную структуру и, несмотря на свою более высокую легированность в сравнении с быстрорежущей сталью РФ-1, уступают ей по своим режущим качествам.

Правильности этого заключения в отношении слоя быстрорежущей стали, наплавленного ацетилено-кислородным пламенем или электродом из быстрорежущей стали проверить нельзя, так как, к сожалению, какие-либо систематические исследования инструмента, наплавленного этими способами, отсутствуют. Что же касается способа наплавки угольным электродом, который нами был исследован с достаточной полнотой, то, очевидно, заключение проф. Минкевича здесь не оправдывается, так как наши исследования, проведенные с несколькими сотнями резцов показали их полную однородность и в отношении режущих качеств, и в отношении твердости по толщине наплавленного слоя. Кроме того было достаточно отчетливо показано, что режущие качества их совершенно не уступают, а в случае добавочного легирования кобальтом и значительно превосходят режущие качества стали РФ-1.

II. ЛАБОРАТОРНЫЕ ИСПЫТАНИЯ ЗАВОДСКИХ РЕЗЦОВ

Лабораторные испытания заводских резцов были проведены с целью сравнения режущих качеств обычных заводских резцов с пластинками стали РФ-1 с режущими качествами наплавленных резцов. Эти сравнительные испытания представляли интерес по следующим соображениям.

Наплавленные резцы не требовали специальной операции закалки, получая ее автоматически при остывании наплавленного слоя из расплавленного состояния. Получая только отпуск, наплавленные резцы, как показали все ранее описанные наши исследования, совершенно не уступали по режущим свойствам резцам с пластинками быстрорежущей стали РФ-1, прошедшим хорошую термическую обработку.

На производстве операция закалки быстрорежущей стали встречает значительные трудности, требуя для правильного проведения обязательного наличия термического оборудования с точным регулированием и контролем температур.

При отсутствии этого оборудования закалка быстрорежущей стали на производстве в лучшем случае существует, как операция охлаждения резца после операции приварки пластинки к державке. Это обычно связано со снижением температуры закалки против оптимальной, так как температура плавления сварочного порошка всегда бывает ниже нормальной температуры закалки. Такая закалка влечет за собой значительное снижение режущих качеств. В том же случае, когда после приварки пластинки к державке резец не закаливается, а проходит операции медленного охлаждения и отжига, а затем уже специально нагревается для закалки, отсутствие контроля температуры может привести и к перегреву, так как сварочный порошок при застывании после приварки пластинки дает твердый раствор с материалом державки и пластинки и при последующем нагреве уже значительно более высокую температуру плавления. Перегрев при закалке еще более вредно сказывается на режущих качествах инструмента. Во многих случаях на производстве не проводят отпуска быстрорежущего инструмента, что также существенно ухудшает его режущие качества.

Наплавка быстрорежущей стали освобождает от необходимости проведения закалки и тем самым ликвидирует (в том случае, когда инстру-

мент не требует отжига для проведения механической обработки) одну из операций, неправильное проведение которой наиболее вредно отражается на качестве режущего инструмента. Лабораторные испытания должны были показать насколько наплавленные резцы, не требующие специальной закалочной операции, превосходят по стойкости обычные заводские резцы, на качество которых неизбежно отразились все ненормальности термической обработки. Кроме того эти испытания должны были показать сколь значительно разнятся между собой резцы различных заводов, имеющих различную культуру термической обработки инструмента.

Для испытаний были взяты с четырех крупных заводов из их инструментальных раздаточных кладовых проходные резцы с приваренными пластинками быстрорежущей стали РФ-1. Резцы были взяты без всякого отбора. В лаборатории перед испытаниями они прошли операцию заточки на станке Гишольт, благодаря чему им была придана та же геометрия и качество заточки, которые имели наплавленные резцы. После этого они прошли испытание по стали 45 с твердостью $H_B = 200$, на тех самых болванках, на которых испытывались резцы, наплавленные сталью РФ-1 в графитовой форме, результаты испытания которых были нами представлены на рис. 45.

Итоги испытания заводских резцов, полученных с четырех заводов, иллюстрируются рисунком 60. На этом рисунке прямая для наплавленных резцов (наплавка РФ-1 заимствована из рис. 45) и проведены еще три прямых по экспериментальным точкам испытаний заводских резцов. Прежде всего обращает на себя внимание чрезвычайно различное качество резцов, полученных с различных заводов. Еще более существенным является то обстоятельство, что резцы всех заводов очень сильно уступают по своим режущим качествам наплавленным резцам. Для наплавленных резцов скорость резания для 60 минутной стойкости 36,5 метров в минуту, для заводских резцов—31,26,5 и 25 метров в минуту, то есть заводские резцы дают производительность соответственно на 15%, 27,5% и 31,5% ниже наплавленных резцов. Это несомненно является результатом их неудовлетворительной термической обработки. Если сравнивать стойкости заводских резцов с наплавленными резцами при постоянной скорости резания, то цифры получатся еще более выразительными. Стойкость наплавленных резцов относится к стойкости заводских как $\frac{8}{1}$, $\frac{30}{1}$ и $\frac{240}{1}$. Если принять во внимание, что отношение стойкостей пропорционально отношению расходов на инструмент, то эти цифры приобретают существенный экономический смысл.

Введение на заводах наплавленных резцов, изготавливаемых из отходов быстрорежущей стали, с их более простой технологией изготовления и более высокими режущими качествами должно дать значительный экономический эффект.

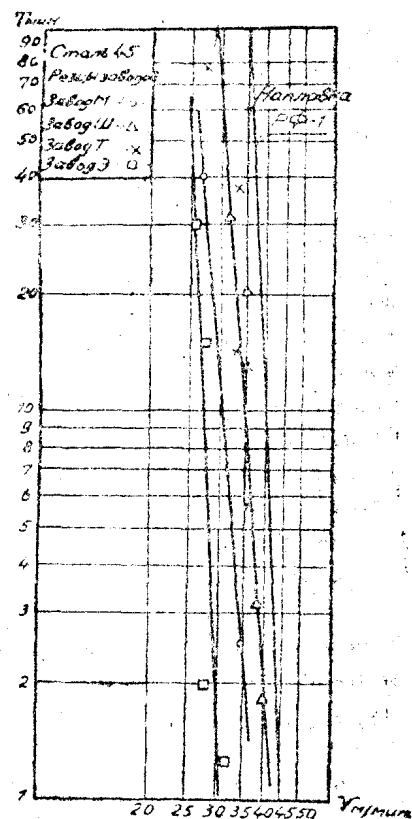


Рис. 60

III. Производственные испытания наплавленных резцов

Производственные испытания наплавленных резцов имели целью опробование их на нормальных заводских операциях со всеми обычно сопутствующими работе режущего инструмента на производстве условиями, как-то: наличие корки на обрабатываемом изделии, не всегда одинаковая твердость обрабатываемого материала, эксцентричность вращения обрабатываемого изделия на обдирочных операциях и связанная с этим переменность глубины резания, возможные вибрации, работа с толчками и ударами и т. п. Кроме того мы преследовали цель сравнить наплавленные резцы с заводскими резцами в производственных условиях, чтобы показать уже не лабораторными опытами, а работой на нормальных заводских операциях преимущества наплавленных резцов перед заводскими.

Производственные испытания наплавленных резцов были выполнены на четырех различных заводах. Для этих испытаний резцы наплавлились сталью РФ-1 угольным электродом в графитовой форме с бурой (флюс) и алюминием (раскислитель). После наплавки следовал трехкратный отпуск при 550° по 1 часу.

При испытаниях наплавленных резцов ничего не изменялось в той производственной операции, на которой проводилось испытание. Глубина резания и подача оставались неизменными, не принималось никаких мер к исключению или уменьшению эксцентричности вращения детали, к более жесткому ее закреплению, к предотвращению возможных вибраций и т. п., то-есть все обычные условия работы инструмента оставались неизменными. Единственно, что обычно приходилось нам изменять,—это повышать скорость резания. Это делалось для того, чтобы не быть связанным с слишком длительной работой резцов до затупления. Заводским резцам, которые сравнивались с наплавленными, обязательно придавалась та же геометрия режущих элементов, которую имели наплавленные резцы, чтобы создать совершенно одинаковые условия испытания.

Испытание наплавленных резцов в производстве преимущественно было проведено на обдирочных операциях, так как именно на этих операциях наиболее резко выявляется разница между условиями лабораторных и производственных испытаний. Испытания были проведены по сталям, чугуны, литой латуни, при работе с охлаждением и без охлаждения. Во всех без исключения случаях наплавленные резцы показали значительно более высокие режущие качества, чем заводские резцы. В некоторых случаях наплавленные резцы успешно работали на тех операциях, на которых в производстве применялись резцы, армированные победитом (что говорит, конечно, о нерациональном использовании победита). Важно, что в этом случае наплавленные резцы могли работать на тех же режимах резания, на которых работал победит, заводские же резцы с пластинками быстрорежущей стали этого выполнить не могли.

Ниже мы приводим выдержки из ряда актов производственных испытаний наплавленных резцов.

1. Резцы размером поперечного сечения 10×12 мм, наплавленные стружкой быстрорежущей стали, проходные испытаны при обточке детали 2480 из стали 45.

Резцы завода с приваренной пластинкой быстрорежущей стали работали при числе оборотов 410. Для испытания число оборотов было повышено до 660.

Заводской резец проработал до затупления 1 час.

Резцы, наплавленные, работая в течение трех смен, требовали переточки 1 раз в смену.

Стойкость наплавленных резцов в 10 раз выше стойкости заводских резцов с пластинками быстрорежущей стали.

2. Резцы, наплавленные проходные и расточные круглого сечения диаметром 15 мм (заводская нормаль И-15, И-23, И-90), испытаны на револьверных станках „Питтлер“ на операциях:

а) Обточка шпинделей из стали 3.

б) Обточка латунного литья по корке.

На указанных операциях на заводе применяются резцы с пластинками „победит“. Испытания проводились без изменения заводских режимов резания. Испытания дали следующие результаты:

На обточке шпинделей резцы, наплавленные отходами быстрорежущей стали, имеют стойкость выше стойкости резцов с пластинками „победит“.

На обработке латуни по корке наплавленные резцы показали нормальную стойкость и могут заменить резцы с пластинками „победит“.

3. Резцы наплавленные, размером поперечного сечения 16×24 мм, и резцы заводские того же размера с пластинками быстрорежущей стали были испытаны на обдирке вала „АД“ из стали твердостью $H_B = 180$. Работа без охлаждения. Работа в цехе на данной операции выполняется резцами с пластинками „победит“ при числе оборотов 100. Для испытания число оборотов было повышено до 200. При этом скорость резания—34,6 м/мин. Глубина резания 4—8 мм. Подача 0,3 мм/об.

Заводский резец с пластинкой быстрорежущей стали при испытании показал стойкость 30 минут. Наплавленный резец—67 минут. Отношение стойкости $\frac{2,23}{1}$.

4. Резцы, наплавленные быстрорежущей сталью РФ-1, и заводские резцы с пластинками быстрорежущей стали РФ-1 подвергнуты испытанию на обдирочном проходе на детали „ствол отбойного молотка“ (сталь 50) по корке при следующем режиме резания:

скорость резания 44,5 м/мин;

глубина резания 1—2 мм;

подача 0,65 мм/об.

Работа без охлаждения.

Работа в цехе на данной операции обычно выполняется резцами с пластинками „победит“.

При испытании резцы показали следующую стойкость:

Заводский резец 4,3 минуты;

Наплавленные резцы 19,5—4,3 минуты;

Отношение стойкостей $\frac{4,55}{1} - \frac{10}{1}$.

5. Резцы, наплавленные быстрорежущей сталью РФ-1 размером поперечного сечения 12×18 мм, и заводские резцы с пластинками стали РФ-1 размером 16×24 мм были подвергнуты испытанию на револьверном станке тип 136 завода им. Орджоникидзе на операции обдирки по корке детали „промежуточное звено“ из стали 45.

Режим испытания:

скорость резания 56,5 м/мин.

глубина резания 2,0 мм.

подача 0,22 мм/об.

Работа с охлаждением.

Стойкость заводских резцов от 13,3 до 23 минут.

Стойкость наплавленных резцов от 69 до 82,5 минуты.

Если учесть разницу размеров резцов и влияние размера резца на его стойкость (карта 71 нормативов по режимам резания при токарной обработке НКТМ СССР изд. 1941 г.), то отношение стойкостей должно быть увеличено в 1,5 раза. При этом отношение стойкостей наплавленных резцов и заводских будет в пределах от $\frac{4,35}{1}$ до $\frac{9,3}{1}$.

6. Наплавленные быстрорежущей сталью резцы и заводские с пластинками быстрорежущей стали одинаковых размеров (16×24 мм) были подвергнуты испытанию на операции обдирки стальной цельнотянутой трубы по корке.

Режим испытания:

скорость резания 41,5 м/мин.
глубина резания 2,5 мм.
подача 0,3 мм/об.
Работа с охлаждением.

Работа в цехе на данной операции обычно выполняется резцами с пластинками „победит“ на указанном режиме резания.

Результаты испытания:

Стойкость заводского резца—0,5 мин. (почти мгновенное затупление).
Стойкость наплавленных резцов 36—45 минут.

Отношение стойкостей $\frac{72}{1}$ — $\frac{90}{1}$.

7. Наплавленные быстрорежущей сталью резцы и заводские с пластинками быстрорежущей стали одинаковых размеров (16×24 мм) подвергнуты испытанию на торцевой обточке детали „крышка“ из чугуна.

Операция—обдирка по корке без охлаждения.

Режим испытания:

число оборотов 120;
глубина резания 3 мм;
подача 0,15 мм/об.

Работа в цехе на данной операции с указанным режимом резания выполняется обычно резцами с пластинками „победит“.

Результаты испытания:

Стойкость заводского резца—0,5 мин. (почти мгновенное затупление).
Стойкость наплавленного резца 43 мин.

Отношение стойкостей $\frac{86}{1}$.

Кроме этих, оформленных актами, испытаний было проведено еще значительное число заводских испытаний, показавших принципиально такие же положительные для наплавленных резцов результаты.

Сопоставление отношений стойкостей наплавленных и заводских резцов, полученных в производственных испытаниях и в лабораторных испытаниях, показывает, что это цифры одного и того же порядка.

Малые стойкости заводских резцов являются результатом их плохой термической обработки. В этом убеждает нас следующее обстоятельство. Одно из сравнительных испытаний было проведено на Томском инструментальном заводе. Это испытание было проведено на операции обдирки заготовок для сверл из быстрорежущей стали. Заводские резцы при этом имели высокие режущие качества, будучи термически обработаны в ус-

ловнях хорошо организованного термического цеха инструментального завода. Испытание показало, что в этом случае стойкости резцов наплавленных и заводских получились одинаковыми. Это вполне согласуется с результатами лабораторных испытаний, показавших, что наплавленные резцы имеют те же режущие качества, что и резцы с пластинками РФ-1, нормально термически обработанные.

IV. ОБЩИЕ ИТОГИ ИСПЫТАНИЙ НАПЛАВЛЕННЫХ РЕЗЦОВ И НЕКОТОРЫЕ СООБРАЖЕНИЯ ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИХ ВНЕДРЕНИЯ НА ПРОИЗВОДСТВЕ

Как показывает материал, изложенный в настоящей главе, испытания наплавленных резцов были проведены с большой полнотой и тщательностью. Через лабораторные и заводские испытания прошли сотни наплавленных резцов, и во всех без исключения случаях они показали высокие режущие качества, не уступающие резцам, изготовленным с пластинками быстрорежущей стали, подвергнутым тщательной термической обработке. В тех случаях, когда резцы с пластинками из быстрорежущей стали не получали нормальной термической обработки, наплавленные резцы показывали во много раз превосходящую стойкость. Наплавленные резцы прошли испытания при обработке различных сталей, чугуна, литой латуни, на обдирочных и чистовых операциях.

Проведенные широкие испытания наплавленных резцов подтвердили правильность разработанной авторами технологии наплавки быстрорежущих сталей угольным электродом. Можно считать доказанным надежность получения высокопроизводительных резцов путем наплавки как быстрорежущей стали типа РФ-1, так и малолегированных ее заменителей ЭИ-184 и ЭИ-262.

Введение наплавки резцов на производстве может мотивироваться следующими соображениями.

Выполнение наплавки угольным электродом является простой операцией, не требующей дефицитных материалов, какого-нибудь специального оборудования или сложной подготовительной работы. Здесь не требуется ни газосварочного оборудования, ни дефицитного карбида кальция и кислорода, как при наплавке ацетилено-кислородным пламенем, ни специального изготовления быстрорежущих электродов со сложной специальной обмазкой, как при наплавке по способу Славянова металлическим электродом из быстрорежущей стали.

Способ наплавки угольным электродом позволяет использовать для наплавки отходы быстрорежущей стали и ее заменителей в виде стружки, всегда имеющейся в инструментальных цехах, и лсми, остающейся от использованного инструмента. В том случае, когда производство не обладает надежным термическим оборудованием для тщательной закалки резцов с пластинками из быстрорежущих сталей, представляется целесообразным изготовление резцов только наплавленных и использование для этого не только отходов, но и новой быстрорежущей стали и ее заменителей. Целесообразность этого диктуется тем, что наплавленные резцы, не требуя закалки, обладают режущими качествами значительно превосходящими режущие качества не очень тщательно закаленных резцов с пластинками из быстрорежущей стали. Особенно существенным это является в применении к малолегированным быстрорежущим сталям, имеющим узкие пределы закалочных температур и поэтому требующих особенно тщательной термической обработки. Наши лабораторные и производственные испытания показали, что наплавленные резцы, не требуя специальной закалки, по ре-

жущим качествам полностью соответствуют резцам с пластинками, подвергнутыми тщательной термической обработке, и во много раз превосходят по стойкости заводские резцы, имеющие неудовлетворительную термическую обработку. Это в еще более значительной мере относится к малолегированным быстрорежущим сталям.

Технология изготовления резцов наплавкой проще технологии изготовления резцов с приваренными пластинками.

Схемы нормального процесса изготовления резца с приваренной пластинкой и напавленной представлены в табл. 21.

Таблица 21

Технологический процесс изготовления			
Резцов с приваренной пластинкой		Напавленных резцов	
№ операции	Наименование	№ операции	Наименование
1	Поковка державки	1	Поковка державки.
2	Фрезеровка гнезда у державки	2	Приготовление стали для наплавки
3	Заготовка пластинки		
4	Пригонка гнезда и пластинки		
5	Прикрепление пластинки к гнезду проволокой	3	Приготовление форм и флюса для наплавки
6	Приготовление сварочного порошка и флюса		
7	Приварка пластинки к державке	4	Наплавка
8	Отжиг	5	Отпуск
9	Закалка		
10	Отпуск	6	Обдирка
11	Обдирка	7	Заточка
12	Заточка		

Как показывает таблица резец с пластинкой проходит 12 операций, напавленный резец—7 операций. Для напавленного резца выпадают операции: фрезеровка гнезда у державки, пригонка гнезда и пластинки, прикрепление пластинки к гнезду, отжиг, закалка, фрезеровка гнезда не требуется, т. к. оно может быть получено под наплавку при ковке державки и пойдет под наплавку в черном виде, что недопустимо при изготовлении резца с пластинкой, где требуется не только чистая поверхность гнезда, но и точно пригнанная к поверхности пластинки, так как в противном случае не будет получено прочного соединения пластинки с державкой. Фрезеровка гнезда у державки, заготовка пластинки, пригонка гнезда и пластинки являются операциями, задалживающими станочное оборудование, и их исключение при переходе к наплавке резцов высвобождает станки и обслуживающих их рабочих. Еще более существенным является уничтожение операции закалки, недостаточно тщательное проведение которой, в особенности при изготовлении инструмента из малолегированных быстрорежущих сталей, ведет к существенной потере режущих качеств. Отсутствие этой операции в технологии изготовления напавленных резцов с одной стороны значительно упрощает их изготовление, с другой стороны ликвидирует возможность получения брака по причине ненадежного ее выполнения.

Существенными являются вопросы производительности при изготовлении напавленных резцов и вопросы пропускной способности сварочного рабочего места, занятого наплавкой резцов. Как показывает опыт одного из заводов, освоивших изготовление напавленных резцов, один сварщик с подручным при нормальной организации рабочего места и при

нормальном снабжении его всеми необходимыми материалами, заранее заготовленными (формовочные материалы, флюс, сталь для наплавки и т. п.), дает в час 15—20 штук наплавленных резцов. Если считать 20 часов работы в сутки, то таким образом один сварочный пост даст в сутки 300—400 наплавленных резцов.

Экономическая эффективность введения наплавленных резцов в производстве определяется не только более простым и дешевым их изготовлением и возможностью использовать при их изготовлении отходы дефицитной быстрорежущей стали, но и их в общем более высокой производительностью, как имеющих более высокие режущие качества, не зависящие от тщательности проведения сложной операции закалки. Директор одного из заводов, освоивших изготовление наплавленных резцов, по этому поводу пишет: „Важно отметить, что резцы стали изготавливать из отходов быстрорежущей стали по методу, разработанному группой научных работников политехнического института. Большая стойкость этих резцов значительно повысила производительность труда на всех станочных работах“ [31].

ОБЩИЕ ВЫВОодЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В работе впервые доказана полная возможность наплавлять быстрорежущую сталь различных марок угольной вольтовой дугой. Возможно применять, как классический способ Бенардоса—угольную дугу постоянного тока, так и пользоваться переменным током от любого сварочного трансформатора. И в том, и в другом случае получаются одинаково высококачественные наплавки и обеспечивается простота приемов, позволяющая работать даже малоопытному сварщику.

2. Предлагаемый метод дает возможность утилизировать в качестве присадочного материала как прутки быстрорежущей стали, так и всевозможные ее отходы: станочную стружку, остатки изношенного инструмента, различный лом.

3. По методу авторов возможно наплавлять высококачественные резцы из сталей Р, РФ-1, ЭИ-262 и смесей сталей ЭИ-184 и РФ-1. Инструмент, наплавленный смесью стали ЭИ-184 (50% по весу) и РФ-1 (50% по весу), не уступает по стойкости цельному из стали РФ-1.

4. Для наплавки применяются державки из обычной поделочной стали. Гнездо под наплавку изготавливается путем горячей штамповки, что значительно удешевляет стоимость заготовки державок. Технологический процесс изготовления наплавленных резцов проще и дешевле процесса изготовления резцов с пластинками быстрорежущих сталей.

5. Разработан метод получения беспузыристых, спокойно застывающих наплавов при раскислении их алюминием. Даны простые способы введения раскисляющего алюминия в ванну как через металлическую стружку, так и через флюс.

6. Исследованы различные формовки для изготовления наплавов. Выработаны очень простые и дешевые формовки в графитовых пластинках и в смеси порошка шамота с глиной.

7. Наплавленные резцы по стойкости и скорости резания одинаковы с резцами из быстрорежущей стали, правильно термически обработанными, и в большинстве случаев значительно превосходят обычные заводские резцы с приваренными пластинками из соответствующих быстрорежущих сталей.

8. Наплавки правильно закаляются во время охлаждения изготовленных резцов на воздухе. Не требуется для закалки ускоренного охлаждения в масляной ванне или в струе воздуха, и при охлаждении в спокойном воздухе без всякой защиты в них не возникает опасных внут-

ренных напряжений и каких-либо трещин в наплавках. Это значительно упрощает изготовление резцов по предлагаемому способу.

Единственная термическая операция, которая требуется для наплавленных резцов—трехкратный отпуск с выдержкой по одному часу при каждом отпуске.

9. В лабораторных условиях исследованы на специальном экспериментальном токарном станке сотни резцов. Получено большое количество графиков скорость—стойкость, подтверждающих высокие режущие качества наплавленных резцов.

10. На заводах работой на производственных операциях испытаны десятки тысяч наплавленных резцов, освоено их изготовление в заводских условиях. Простота технологии изготовления их и более высокие режущие качества дали в производстве значительный экономический эффект.

11. Металлографическое исследование наплавки показало, что вследствие особенностей кристаллизации их структура, хотя и имеет некоторые признаки литой, но отличается отсутствием ликвации, мелкозернистостью и однородностью.

12. Имеются весьма широкие возможности легирования наплавки путем прибавления в шихту ферросплавов или чистых металлов. Особое значение в послевоенное время приобретает легирование кобальтом, позволяющее увеличить стойкость резцов в десятки раз. Имеет значение легирование молибденом, азотом и бором.

13. Перспективно в послевоенное время дальнейшее развертывание исследования обещает новые достижения научного и экономического порядка: выработка новых марок стали для наплавки, широкая механизация процессов наплавки и подсобных работ, внедрение в производство новых методов наплавки резцов (под слоем флюса, наплавка по Церенеру и т. д.).

14. Работа выполнена в лабораториях металловедения и резания металлов Томского политехнического института.

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Тэйлор Ф.—Искусство резать металлы, Берлин, 1922.
2. Новости иностранной металлургии, 1937, № 6, стр. 71.
3. Минкевич Н. А., Иваиов А. Г., Иванов О. С.—Новые малолегированные быстрорежущие стали, Металлургиздат, 1940, второе издание 1944.
4. Брохин И. С. Сплав „Смена“, Металлургизд. 1933.
5. „Akrit“. Das Schneidmetall für die moderne Bearbeitungswerkstatt, проспект, 1931.
6. Вестник металлопромышленности, 1940, № 4—5, стр. 38.
7. Известия Сиб. Института металлов, т. 1, в. 1, 1931.
8. W. Oertei u. Grützner. Die Schnelldrehstähle. Stahleisen, 1931.
9. Iron Age, 1919, p. 1711.
10. Рапатц Ф. Качественная сталь, ГОНТИ, 1938.
11. Вестник машиностроения, 1943, № 11—12.
12. I. Автогенное дело, 1937, № 2, Лapidус В. А.
II. Автогенное дело, 1937, № 8, Мороз Л. С.
III. Автогенное дело, 1939, № 4, Шорин П. И.
IV. Автогенное дело, 1940, № 7, Смирнов И. С.
13. I. Вестник металлопромышленности, 1937, № 18, Сичиков М.;
II. Автогенное дело, 1938, № 1, Лapidус В. А.;
III. Автогенное дело, 1939, № 5, Рагазина М. Ф.;
IV. Станки и инструмент, 1937, № 15, стр. 4, Кукс;
V. Автогенное дело, 1941, № 2, Чистосердов;
VI. Вагин В. А., Высококачественный инструмент из стружки и лома, ИТЭИН, 1942;
VII. Стефановский, Использование отходов быстрорежущей стали и победита для наплавки инструмента. ИТЭИН, 1943.
14. Гинзбург Я. С. Термомеханическая обработка высоколегированной стали, ОНТИ, 1937.

З а м е ч е н н ы е о п е ч а т к и

Страница	Строка	Напечатано	Следует
23	14 сверху	в точке а	в точке 8
24	Табл. 2. столб. 2, первый ряд	0	50
32	18 сверху	электродержатель	электрододержатель
33	16 снизу	модифицирование	модифицирование

Изв. ТПИ, том 61, вып. 4