

ОБРАБАТЫВАЕМОСТЬ СТАЛИ 9ХС

Н. Д. ТЮТЁВА И А. К. БАЙКАЛОВ

Введение

Вопрос об обрабатываемости стали 9ХС возник в связи с браком по дисковым модульным фрезам на Томском инструментальном заводе. Брак по фрезам шел на заводе за счет низкого качества поверхности при затыловании фрез, изготовленных из стали марки 9ХС.

Улучшение обрабатываемости достигалось двумя путями: 1) изысканием улучшающего режима термической обработки фрез, изготовленных из стали марки 9ХС, и 2) подбором смазки в процессе резания (затылования). В соответствии с этим работа делится на две части: в первой части даны результаты подбора улучшающего режима термической обработки. Во второй части—результаты подбора смазки в процессе резания (затылования).

Подбор улучшающего режима термической обработки

Для улучшения обрабатываемости необходимо было подобрать режим термической обработки, обеспечивающий определенную твердость, при которой обрабатываемость будет наилучшая, и определенную структуру, также дающую наилучшую обрабатываемость. Вначале были проведены опыты по обработке дисков из стали 9ХС $d=80$ мм, по разному термически обработанных, имеющих различную твердость. Были проведены следующие режимы термической обработки с получением определенных результатов по твердости и обрабатываемости (табл. 1).

Из приведенных 14 режимов термической обработки 6, 13 и 14 дали твердость и структуру, обеспечившую хорошую обрабатываемость. Об обрабатываемости мы судим по качеству поверхности, сравнивая ее с эталоном и измеряя профилографом величину (глубину) получающихся дефектов поверхности.

Дисковые модульные фрезы, обработанные по режиму 6, 13 и 14 с наиболее приемлемой твердостью, были испытаны на обрабатываемость в заводских условиях (обработка на затыловочном станке механического цеха Томского инструментального завода).

Испытания показали вполне удовлетворительную обрабатываемость по качеству поверхности при сравнении с эталоном. Измерение глубины поверхностных дефектов профилографом указывает, что задиры на поверхности совсем отсутствуют. Глубина дефектов (царапин, получающихся при обработке дисковых модульных фрез, прошедших нашу термическую обработку) меньше, нежели на эталонах или на фрезах, признанных по качеству поверхности удовлетворяющими требованиям ОТК. Фрезы, обработанные по 6, 13 и 14 режимам после проверки на обрабатываемость затылованием, прошли нормальный режим термической обработки, принятой на заводе, как окончательный после механической обработки. Этот режим—закалка в масле с $t^{\circ}=850^{\circ}$, отпуск и воронение. Такая термическая обработка еще более улучшила качество поверхности фрез.

Таблица 1

№	Режим термической обработки	Твердость до данной термической обработки	Твердость после данной термической обработки	Обрабатываемость
1	Нагрев до $t^{\circ} = 820^{\circ}$ в течение 2 часов, выдержка при $t^{\circ} = 820^{\circ}$ — 3 часа. Охлаждение со скоростью 30 град/час до $t^{\circ} = 450^{\circ}$ Первый диск	241	187	Всухую — неудовлетворительная
	Второй диск	241	207	Всухую — неудовлетворительная
2	Нагрев до $t^{\circ} = 820^{\circ}$ — 2 часа Выдержка при $t^{\circ} = 820^{\circ}$ — 3 часа Охлаждение со скоростью 60 град/час до $t^{\circ} = 300^{\circ}$ Первый диск	241	217	Всухую — неудовлетворительная
	Второй диск	223	207	Всухую — неудовлетворительная
3	Нагрев до $t^{\circ} = 820^{\circ}$ — 2 часа Выдержка при $t^{\circ} = 820^{\circ}$ — 1 час Охлаждение со скоростью 90 град/час до $t^{\circ} = 400^{\circ}$ Первый диск	187	207	Всухую — неудовлетворительная.
	Второй диск	207	229	Всухую — неудовлетворительная.
4	Нормализация с $t^{\circ} = 850^{\circ}$	207	331	Неудовлетворительная — высокая твердость
5	Нормализация с $t^{\circ} = 850^{\circ}$ Отпуск с $t^{\circ} = 600^{\circ}$ в течение 1 часа	207	269	Неудовлетворительная — высокая твердость
6	Нормализация с $t^{\circ} = 850^{\circ}$ Отпуск с $t^{\circ} = 630^{\circ}$ 1 час. Охлаждение со скоростью 90 град/час до $t^{\circ} = 400^{\circ}$	269	255	Хорошая
7.	Закалка в масле с $t^{\circ} = 850^{\circ}$ Отпуск с $t^{\circ} = 630^{\circ}$ в течение 1 часа	223	302	Неудовлетворительная — высокая твердость

№	Режим термической обработки	Твердость до данной термической обработки	Твердость после данной термической обработки	Обрабатываемость
8	Закалка в масле с $t^{\circ} = 850^{\circ}$ Отпуск с $t^{\circ} = 680^{\circ}$ — 1 час	302	229	Неудовлетворительная низкая твердость
9	Нормализация с $t^{\circ} = 850^{\circ}$ Отпуск с $t^{\circ} = 650^{\circ}$ — 1 час	229	302	Неудовлетворительная — высокая твердость
10	Нормализация с $t^{\circ} = 850^{\circ}$ Отпуск с $t^{\circ} = 640^{\circ}$ — 2 часа, охлаждение 90 град/час до $t^{\circ} = 500^{\circ}$	217	285	Неудовлетворительная — высокая твердость
11	Нормализация с $t^{\circ} = 850^{\circ}$ Отпуск с $t^{\circ} = 690^{\circ}$ — 1 час	217	285	Неудовлетворительная — высокая твердость
12	Нормализация с $t^{\circ} = 850^{\circ}$ Отпуск с $t^{\circ} = 710-720^{\circ}$ — 3 часа	285	262	Удовлетворительная
13	Нормализация с $t^{\circ} = 850^{\circ}$ Отпуск с $t^{\circ} = 720-730$ — 7 часов	286	248	Хорошая
14	Нормализация с $t^{\circ} = 850^{\circ}$ Отпуск с $t^{\circ} = 730^{\circ}$ — 3 часа	302	255	Хорошая

Выводы

1. Можно считать, что фрезы из стали марки 9ХС, предварительно обработанные по указанным режимам (6, 12, 13 и 14), дают при обработке всухую вполне удовлетворительную обрабатываемость, характеризующуюся определенной чистотой поверхности.

2. Лучшее качество поверхности (вполне удовлетворяющее требованиям ОТК завода) мы получаем после того, как фрезы пройдут принятую для них окончательную термическую обработку (закалка, отпуск, воронение).

Влияние смазки на чистоту поверхности при затыловании модульных фрез

Величина и характер неровностей

В производственных условиях затылование модульных фрез чаще всего производится всухую. Скорость резания не превышает 2—5 м/мин. Незначительная скорость резания, повышенная вязкость обрабатываемого материала, неблагоприятная геометрия резца (отсутствие переднего угла, сложный профиль режущей кромки) при работе всухую являются причиной образования неудовлетворительной поверхности зуба фрезы.

Обработанная поверхность имеет рваный матовый вид и получается в зоне скоростей, характеризующейся наличием неустойчивого нароста, т. е. в зоне, наименее благоприятной для получения минимальной величины неровностей.

Матовый вид затылка фрезы представляет из себя мельчайшие надрывы поверхности в виде чешуек металла, ориентированных перпендикулярно к образуемой поверхности и направленных по радиусу фрезы.

Более или менее однотипная матовая поверхность нарушена массой глубоких надрывов, расположенных вдоль образующей поверхности профилируемого зуба. Наиболее глубокие вырывы металла получаются в точке сопряжения кривых профиля зуба, в которой задний угол резца близок к 0° .

Для уменьшения величины неровностей и получения приемлимой чистоты поверхности в производственных условиях применяют обработку на „вывод стружки“. Этот способ заключается в том, что подача выключается, резец снимает стружку минимальной толщины за счет сил упругих деформаций и в конечном итоге уже не режет, а скребет поверхность. В результате затылок принимает так называемый „товарный вид“, т. е. удовлетворяет требования ОТК по внешнему виду без учета величины неровностей.

Неровности на затылке после вывода стружки значительно уменьшаются и образуют хорошо видимую сетку, состоящую из следов „дробления“, т. е. вибрации резца при скоблении („дробление“ расположено вдоль радиуса фрез), и следов неровностей режущей кромки резца, которые „вписываются“ в профиль зуба и дают эквидистантные кривые.

Помимо сетки на поверхности затылка остаются вырывы, величина их значительно меньше чем до скобления, но они попрежнему являются определяющим фактором чистоты поверхности.

Измерение неровностей на двойном микроскопе Линника показало, что величина неровностей „дробления“ не превышает 10—12 μ , в то время, как глубина вырывов нередко достигает 80—100 μ (на переходной кромке профиля зуба).

Способ „вывода стружки“ является для производства единственным способом, позволяющим получить более или менее удовлетворительное качество поверхности затыловки. Однако указанным методом не удается избежать брака фрез. При скоблении зачастую вырывы металла не только не выводятся, а наоборот, возникают вновь. Такие фрезы относятся к разряду плохо обрабатываемых фрез и, как правило, бракуются.

Исследования обрабатываемости стали 9ХС для случая затылования модульных фрез, проведенные в лаборатории резания института, имели целью выяснить влияние твердости обрабатываемого материала, смазки, доводки режущего инструмента на чистоту поверхности и установить оптимальные условия механической обработки затылования фрез. Большая часть опытов была поставлена в лабораторных условиях. Всего проделано 78 опытов и проведена двукратная проверка полученных результатов в заводских условиях. Ниже приводятся результаты опытов.

Влияние твердости обрабатываемого материала

В заводских условиях приемлемой твердостью заготовок из стали УхС является твердость по Бринелю в пределах $H_B = 217-255$ (отпечаток 4,1—3,8 мм). Наилучшую обрабатываемость давали заготовки с $H_B = 229-241$. Указанная твердость не всегда обеспечивала надежные результаты.

В лабораторных условиях обработке подверглись заготовки с твердостью $H_B = 217, 223, 229, 241, 255, 262$. Подавляющее большинство заготовок при обработке всухую не отвечает требованиям чистоты поверхности (опыты № 21, 35, 43, 66, 67 и др.). Более или менее надежные результаты получены в опытах № 33 и 60. В первом случае обрабатывалась фреза с $H_B = 241$, которая показала хорошую обрабатываемость на заводе, во втором случае удовлетворительную поверхность дала заготовка с $H_B = 255$ после нормализации. Опытами установлено, что заготовки с твердостью $H_B = 217$ и ниже, как правило, при обработке всухую дают рваную поверхность с глубокими местными вырывами, достигающими до 150 делений микроскопа Линника и выше (т. е. более 0,04 мм). Для твердостей $H_B = 229-241-255$ вырывы имеют место, но характер их монотонен и „товарный“ вид обработанной поверхности улучшается. Заготовки с большей твердостью $H_B = 262$ значительного эффекта не дают и, как показали опыты в заводских условиях, повышенная твердость вызывает быстрое затупление резца и ухудшение чистоты поверхности.

Подводя итог вышеизложенному, можно сделать вывод:

- 1) фрезы с большей твердостью ($H_B = 241-255$) дают более чистую обработанную поверхность при обработке всухую,
- 2) увеличение твердости свыше $H_B = 260$ нежелательно, ибо резко снижается стойкость быстрорежущего резца.

Влияние смазки на чистоту поверхности

В опытах применялись следующие смазки:

- а) 1-процентный мыльный раствор,
- б) веретенное масло в чистом виде и с четыреххлористым углеродом (10%, 20%),
- в) осерненное вазелиновое масло,
- г) осерненное вазелиновое масло с четыреххлористым углеродом (CCl_4) в различном процентном соотношении (5, 10, 15, 20%),
- д) дихлорэтан в чистом виде и с веретенным и вазелиновым маслом,
- е) окисленный керосин в чистом виде и в смеси с маслами, CCl_4 и дихлорэтаном.

После ряда опытов было установлено, что смазки а—д—е эффекта не дают. Окисленный керосин, рекомендованный как надежное средство для тяжелых режимов резания, положительного результата не дал, что можно объяснить тем, что технология его получения неизвестна. Наибольший эффект показали смазки: осерненное вазелиновое масло в чистом виде и особенно с 15—20% четыреххлористого углерода (CCl_4); значительно худший результат получен при смазке веретенным маслом.

В силу этого большинство экспериментов проведено со смазкой: веретенное масло и вазелиновое осерненное масло с добавкой 5, 10, 15, 20% CCl_4 .

При применении смазки отмечены следующие явления:

- а) поверхность заготовки принимает блестящий вид, в отличие от матового, получаемого при обработке всухую;
- б) количество вырывов резко уменьшается, а величина их значительно меньше, чем при обработке всухую;

в) средняя величина неровностей не превышает 10—12 м; чешуйчатость поверхности, наблюдаемая при обработке всухую, совершенно отсутствует;

г) наибольший эффект получен при применении осерненного вазелинового масла с 20% CCl_4 ;

д) процесс резания при применении смазки облегчается, резец работает более спокойно, стружка сходит равномерно по всему профилю резца и менее дробится, чем при резании всухую;

е) твердость заготовки значительно менее сказывается на величине неровностей, чем при резании всухую. Отмечено, что для твердостей $H_B = 241$ и выше смазка значительного эффекта не дает. Наоборот, с уменьшением твердости, даже для образцов с $H_B = 217$ и ниже, поверхность с применением смазки значительно улучшается и вполне соответствует экспортным требованиям;

ж) „товарный“ вид при применении смазки для твердых образцов ($H_B = 241$) несколько ухудшается, что связано с тем, что на фоне общей блестящей поверхности явно выступают незначительные дефекты: радиальное дробление из-за вибраций резца и станка, местные незначительные вырывы, имеющие матовый вид. После термообработки готовой фрезы указанные дефекты совершенно исчезают.

Для практики можно рекомендовать смазку следующего состава:

а) при обработке фрез большого модуля: осерненное вазелиновое масло с 15—20% CCl_4 ;

б) для фрез с малым модулем и твердостью $H_B = 223—229$ —обычное осерненное вазелиновое масло.

Влияние состояния режущих кромок резца

Резцы, применяемые для затыловки фрез, воспроизводят профиль канавки зуба зубчатого колеса, в силу этого задняя грань резца обрабатывается и доводится вручную лекальным способом. Заточка резца производится по передней грани ($\gamma = 0^\circ$) шлифовальным кругом. При двадцатикратном увеличении режущая кромка резца, заточенного в производственных условиях, представляет сильно иззубренную поверхность, с величиной отдельных зазубрин до 0,02—0,03 мм. В процессе работы под воздействием стружки передняя грань истирается; уже после 2—3 оборотов заготовки появляется матовая полоска вдоль всего профиля шириной 0,10—0,20 мм, которая быстро достигает 0,8—1,0 мм ширины. Как при работе со смазкой, так и без нее, на передней грани отмечается появление нароста, который представляет наслоение очень мелких частичек стружки. Нарост неустойчив и легко удаляется (особенно при наличии смазки).

На поверхности контакта резца и стружки (матовая полоска вдоль кромки) при рассмотрении под микроскопом (20х) можно заметить довольно прочно удерживаемый на поверхности (удаляется только оселком) налип шириной 0,1—0,2 мм, представляющий собой бугорки спрессованной металлической пыли. Нарост и величина налива возрастают при наличии грубозаточенной передней грани.

При обработке всухую доводка режущей грани (передней и задней) сказывается незначительно, ибо наличие вырывов, определяющих матовый цвет обработанной поверхности, нивелирует влияние зазубрин режущей кромки инструмента. С применением смазки вырывы исчезают, поверхность принимает зеркальный вид, в результате чего профиль резца полностью передается на обработанную поверхность. Это обстоятельство требует при применении смазки тщательной доводки передней и задней граней инструмента. Ввиду того, что на передней грани быстро вырабаты-

вается матовая полоска, т. е. доводка практически быстро исчезает, достаточно заточки передней грани шлифовальным кругом (7—8 класс чистоты). Требования же к доводке задней грани, определяющей в основном величину зазубрин режущей кромки, должны быть значительно повышены.

На основании изложенного необходимо сделать следующее заключение:

1. При изготовлении резцов следует повысить требования к обработке задней грани (притирка неровностей).

2. Заточку передней грани необходимо производить мелкозернистым кругом, обеспечивая чистоту 7—8 класса.

3. Чистовую обработку фрез производить свежезаточенным резцом, не допуская притупления режущей кромки (заточка резца через 3—4 фрезы).

Результаты опытов в заводских условиях

Опыты проведены на затыловочном станке по фрезам с различной твердостью всухую и со смазкой. Фрезы (маркировка № 11, 12, 13) имели твердость 248, 255, 262 (по Бринелю) и фрезы (№ 14, 15)—твердость 229, 223. Первая группа фрез имела специальный режим термообработки, описанный в первой части данной статьи. Вторая группа взята из цеховой партии заготовок. Все фрезы обрабатывались как всухую, так и со смазкой (осерненное вазелиновое масло + 20% CCl_4), при этом фрезы № 11, 12, 13 закончены обработкой всухую, а фрезы № 14, 15—со смазкой. В дальнейшем каждая фреза была разрезана на две половинки, из которых одна осталась с поверхностью после механической обработки, а другая прошла термообработку (закалку, отпуск) и обдувку песком, т. е. полный процесс изготовления. В результате опытов установлено:

1. Фрезы с $H_B = 248, 255, 262$ при обработке всухую дали хорошую поверхность. Применение смазки на твердых образцах заметно не улучшило качества поверхности. В целом обработка указанных фрез соответствует лучшим заводским критериям чистоты для экспортных фрез.

2. Фреза № 15 взята из партии плохо обрабатываемых заготовок и окончательно обработана со смазкой. В результате получена очень хорошая поверхность, соответствующая требованиям экспорта. Фреза № 14 также выбрана из заводской партии заготовок и обработана со смазкой притупленным резцом. Качество поверхности вполне удовлетворительное, „товарный“ вид несколько хуже фрезы № 14, ввиду большого количества неровностей (указанные фрезы в заводских условиях были забракованы).

После термической обработки вторых половинок и обдувки их песком качество поверхности всех пяти фрез отвечает требованиям экспорта, товарный вид обработанной поверхности улучшается, неровности заметно уменьшаются, а мелкие дефекты (радиальное дробление, мелкие вырывы и трещинки) совершенно незаметны. В опытах, проведенных на заводе, отмечено резкое влияние вибраций станка на товарный вид поверхности при работе со смазкой, так называемое „радиальное дробление“ (исчезает после термообработки), и влияние состояния режущей кромки резца (продольные неровности заметны и после термообработки).

Величина неровностей на затылке зуба фрезы, обработанного со смазкой

При обработке фрез всухую (производственных заготовок) глубина отдельных вырывов достигает 70—90 делений микроскопа (18—25 μ), нередко даже значительно больше (30—40 μ); величина надрывов на затылке (чешуйки) достигает 100—150 делений (25—40 μ).

При применении смазки микронадрывы исчезают, поверхность принимает блестящий вид, количество вырывов и их глубина резко уменьшаются. Отдельные вырывы (18—25 μ) появляются, как исключение. В целом поверхность имеет высоту неровностей 10—12 μ и ниже. Значительное и преобладающее значение здесь имеют неровности от зазубрин режущей кромки, которые резко сказываются на затылке фрезы, достигая 50—80 делений (12—20 μ). Радиальное дробление ясно заметно, но величина его не превышает 2—3 μ (объясняется световым эффектом). После окончательной обработки фрезы (термообработка и обдувка песком) величина неровностей (крупных вырывов и выступов) уменьшается на 10—15%, мелкие неровности (микронадрывы, чешуйки, дробление) почти полностью исчезают. Ниже приводится таблица измерений неровностей фрезы № 15 $H_B = 223$, обработанной со смазкой.

Таблица 2

Поверхность	До термообработки		После термообработки	
	Средн.	Макс.	Средн.	Макс.
1. Затылок	8—10 μ	20 μ	3—8 μ	15 μ
2. Переходная часть	5—8 μ	10 μ	5—8 μ	10 μ
3. Боковая сторона зуба	4—7 μ	8 μ	2—5 μ	8 μ

Заключение

Опытами установлено, что обработка без смазки дает надежные результаты для фрез с повышенной твердостью ($H_B = 248—255$) в узком интервале твердостей. В производственных условиях неизбежны отклонения от указанного интервала и получение заготовок с большей разницей в твердостях ($H_B = 217—255$). Опыты со смазкой дали наиболее надежный результат для фрез с твердостью $H_B = 217—248$.

Таким образом, как оптимальный термический режим, рассчитанный на получение заготовок повышенной твердости, так и применение смазки для заготовок, не отвечающих твердости наилучшей обрабатываемости всухую, должны полностью исключить брак модульных фрез по чистоте поверхности.