

ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВЫБОРА ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ СТАЛЕЙ РОТОРНО-КОНВЕЙЕРНЫХ ЛИНИЙ

Г.А. Околович

Стали роторно-конвейерных линий предназначаются для большой группы штампов: пуансоны выдавливания и высадки, прессования порошков высокой плотности, а также накатного инструмента, пневматических зубил для трудно обрабатываемых сплавов, работающих в наиболее тяжелых условиях эксплуатации.

Основные свойства, которые должны иметь стали этого назначения - высокое сопротивление пластической деформации при высокой прочности, удовлетворительной вязкости и повышенной теплостойкостью, так как в процессе деформации штампы разогреваются до 300-400 °С.

Повышенное сопротивление пластической деформации достигается при условии высокой твердости и отсутствием в структуре остаточного аустенита.

Высокие вязкость и прочность обеспечиваются сохранением мелкого зерна и сравнительно небольшого количества карбидной фазы при её равномерном распределении даже в крупном сечении.

Легированные заэвтектоидные стали X, 9XC, XBГ и другие практически непригодны из-за низкой теплостойкости. В настоящее время в промышленности, в основном, стали X6BФ, X12M. Из-за низкой теплостойкости и твердости 57-58, их возможно применять лишь при относительно низких удельных силах: не выше 1600-1700 МПа.

Для деформирования при высоких удельных силах сейчас используется, главным образом, быстрорежущие стали. Но наряду с высокой стоимостью они характеризуются недостаточной вязкостью, особенно в крупных сечениях. Кроме того, в указанных условиях эксплуатации не используется высокая теплостойкость дорогостоящих быстрорежущих сталей.

За последние годы исследователями [1, 2, 3, 4] разработан ряд теплостойких штамповых сталей с меньшим содержанием легирующих элементов и с более высокими механическими свойствами, чем у быстрорежущих сталей.

К таким штамповым сталям относятся стали 55X6B3MФС, 6X4M2ФС, 8X4B2C2MФ, ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК №3 2004

11X4B2C2Ф3M и др. Простое сопоставление химического состава этих сталей отчетливо показывает, что они сильно отличаются в условиях легирования, а следовательно и в свойствах.

Как известно, увеличение содержания углерода до 1,0% необходимо для получения высокой твердости, что позволяет уменьшить износ инструмента. Однако при высоком легировании оно сопровождается значительным ухудшением карбидной неоднородности с увеличением сечения заготовок. Это приводит к дальнейшему снижению вязкости и прочности, к быстрому выкрашиванию и поломке инструмента. По-видимому, надо считать, что необходимы две группы штамповых сталей этого назначения, имеющих разное содержание углерода и неодинаковую твердость, прочность и вязкость. Для работы при нагрузках на инструмент до 2000 МПа и выше 2000 МПа. Это стали с 0,6-0,7%, с твердостью НКС 58-60; и стали с 0,8-1,0 % и твердостью НКС 62-65 (рис.1).

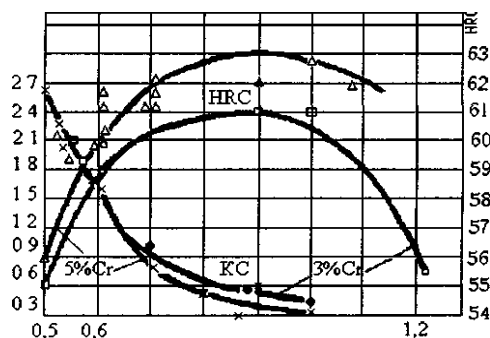


Рис. 1. Твердость и вязкость сталей в зависимости от содержания углерода и хрома (отпуск 525 °С, 3 раза по 1 ч.)

Наряду с созданием легированных сталей была исследована возможность термомеханической обработки для повышения их прочностных свойств. Однако этот путь оказывается неэффективным. Высокотемпературная обработка вызывает выделение карбидов из твердого раствора и сильно его обедняет. Вследствие этого теряется способность сохранять требуемую твердость при высоком отпуске, необходимом для превращения остаточного аустенита. Низкотемпера-

турная обработка затруднена или невозможна по техническим соображениям, так как переохлажденный высоколегированный аустенит этих сталей имеет повышенное сопротивление пластической деформации.

Для изготовления штампов холодной штамповки (высадочные матрицы, некоторые типы штампов для вырубки, пробивки и т.п.) в промышленности были использованы также твердые сплавы - преимущественно вольфрамкобальтовые. Несмотря на большую стоимость и сложные конструкции штампов, применение твердых сплавов оказывается экономически целесообразным за счет обеспечения высокой стойкости инструмента.

Однако этот путь не решает задачи. Для многих операций холодной штамповки твердые сплавы не удается использовать. Причина этого - низкая ударная вязкость ($0,05-0,01$ Дж/м²) и прочность при изгибе ($\sigma_{изг} < 2500$ МПа). Достаточно напомнить, что лучшие штамповые стали при твердости HRC 60-63 обладают в 5-8 раз более высокой вязкостью и в 1,5-2,0 раза более высокой прочностью при значительно меньшей стоимости. Поэтому твердые сплавы применимы лишь для штампов простой формы. Таким образом, проблема повышения стойкости тяжелонагруженных штампов в значительной степени остается нерешенной.

Наши исследования показали, что в группе сталей с 0,6% углерода лучшим комплексом свойств обладает сталь 6Х4М2ФС (ДИ-55) и 55Х6В3МФС (ЭП-569) (табл. 1).

Таблица 1

Механические свойства штамповых сталей, обрабатываемых на вторичную твердость

№ п/п	Марка стали	Твёрдость, НВС	Ударная вязкость КС, Дж/см ²	Прочность при изгибе, $\sigma_{изг}$, МПа	Предел текучести при сжатии, $\sigma_{0,2}$	Предел усталости, σ_{-1} , МПа
1	55Х6В3МФС (ЭП569)	58	18	4000	1800	900
2	6Х4М2ФС (ДИ55)	60	14	4300	2000	950
3	8Х4В2С2МФ (ЭП761)	61	6,2	4000	2400	850
4	11Х4В2С2МФ3 (ДИ37)	60	4	3600	2400	800
5	Р6М5	63	4,2	3600	2700	700

Эти стали изменяют вязкость не только в зависимости от содержания углерода, но и от легирования. В то же время они мало чувствительны к масштабному фактору. Это вызвано тем, что количество карбидной фазы сталей сравнительно невысокое. Предпочтительнее сталь 6Х4М2ФС, при меньшей стоимости (нет дефицитного вольфрама), она имеет несколько лучший комплекс механических свойств. Сталь 6Х4М2ФС эвтектоидного состава, что практически исключает карбидную неоднородность даже в крупном сечении (\varnothing 180 не выше балла 1). В стали 55Х6В3МФС количество избыточных карбидов больше (\varnothing 180, 2-3 балл) и, кроме того, при содержании углерода на нижнем пределе невозможно получить твердость выше HRC 54-56.

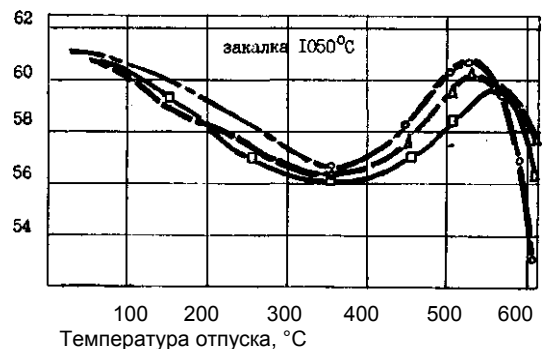


Рис.2. График изменения твердости стали 6Х4М2ФС в зависимости от температуры отпуска: □ - однократный отпуск; Δ - двукратный отпуск; ○ - трехкратный; сталь 6Х4М2ФС (ДИ 55), ГОСТ 5550-84 C=0,57-0,65%; Cr=3,8-4,4%; Mo=2,0 -2,4%; U=0,6-0,9%; Ac₁=820 °C; Ac₃=850°C; Mn=150°C

Температурная обработка стали рассчитана на двойное упрочнение: мартенситное при закалке с 1 020-1 070 °C в масле или на воздухе и дисперсионное твердение при трехкратном отпуске 520-540°C. Развитие дисперсионного твердения, величина деформации и усталостная прочность в основном зависят от содержания углерода. При содержании C 0,5-0,6% процессы дисперсионного твердения развиваются менее интенсивно. Вследствие этого вторичная твердость для стали 55Х6В3МФС не превышает НКС 58-59, а для стали 6Х4М2ФС НКС 59-61. Однако эти стали сохраняют повышенную вязкость. Структура в закаленном и отпущенном состоянии: мартенсит, небольшое содержание карбидов и остаточного аустенита. Сталь 6Х4М2ФС изменяет свою твердость при отпуске так же, как и другие инструментальные стали со вторичным твердением (рис. 2).

ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВЫБОРА ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ СТАЛЕЙ РОТОРНО-КОНВЕЙЕРНЫХ ЛИНИЙ

Максимум твердости наблюдается после отпуска 525 °С при высоком комплексе механических свойств:

$\sigma_B=2600-2800$ МПа, $\sigma_{изг}=4000-4500$ МПа, $KC=10-21$ Дж/см² (табл. 2).

Таблица 2
Механические свойства стали 6Х4М2ФС в зависимости от температуры закалки и отпуска

Температура закалки	Температура отпуска	Твердость HRC	Прочность при изгибе $\sigma_{изг}$, МПа	Предел упругости $\sigma_{0,02}$, МПа	Ударная вязкость, КС, Дж/см ²
1020	525	60,0	4070	2590	14
	550	58,0	4720	2230	20
1060	500	58,0	3420	1940	15
	525	61,0	4340	2470	10
	550	59,0	4730	2050	16

Ударная вязкость значительно изменяется в зависимости от твердости и температуры отпуска (рис. 3).

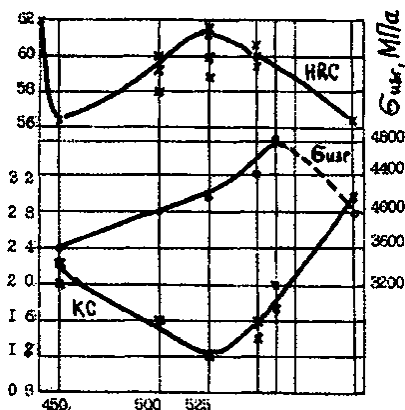


Рис.3. Механические свойства стали 6Х4МФС в зависимости от температуры отпуска, закалка от 1060 °С

В результате усталостных испытаний установлено, что сталь 6Х4М2ФС при симметричном циклическом нагружении до 1250 МПа имеет долговечность более 200000 циклов и по уровню усталостной прочности превосходит быстрорежущую сталь Р6М5, обработанную по оптимальному режиму (рис.4) [5].

Снижение температуры закалки стали Р6М5 от 1220 до 1140 °С, несмотря на ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК №3 2004

уменьшение твердости, привело к значительному сокращению поля рассеяния усталостной долговечности за счет повышения его нижней границы. Это подтверждается и опытом эксплуатации пуансонов из стали Р6М5, для которых снижение температуры закалки сильно уменьшило вероятность поломок.

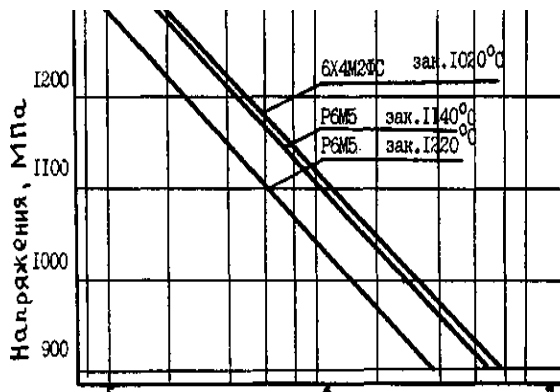


Рис. 4. Результаты усталостных испытаний стали 6Х4М2ФС и Р6М5

Исследование изломов усталостных образцов показали, что в случае быстрорежущей стали Р6М5 и Р12, а также Х12М, повреждение начиналось от скопления крупных карбидов, а в стали 6Х4М2ФС - от неметаллических включений.

Усталостную прочность, износостойкость и сопротивление смятию тяжело нагруженный инструмент холодной объемной штамповки должен сохранять до температуры 400-500 °С. По этой причине для их изготовления можно применять только вторично твердеющие стали.

Сталь 6Х4М2ФС (ДИ-55) - эвтектоидного состава, обладает минимальной деформацией при термической обработке, что улучшает технологию изготовления длинномерного и сложного инструмента (резьбонакатных плашек, роликов и др.). Однородная структура высокотехнологична: хорошо куется, отжигается, удовлетворительно обрабатывается резанием, легко шлифуется, имеет широкий диапазон температур закалки и отпуска (1020-1060 °С и 520-550 °С, соответственно) при стабильной твердости НКС 59-61.

Внедрение взамен сталей Х12М, Р6М5 обеспечивает повышение стойкости тяжело нагруженного инструмента в 2-4 раза и в 5-10 раз по сравнению со сталями У10, ХВГ.

Сталь 6Х4М2ФС применяется в холодно-высадочном производстве и введена в ГОСТ 5950-84.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Геллер Ю.А., Моисеев В.Ф., Околович Г.А. Основы легирования сталей холодного деформирования, обрабатываемых на вторичную твердость. *Металловедение и термическая обработка металлов*, 1973, N2.

2. Позняк Л.А., Скрынченко Ю.М., Тишаев С.И. *Штамповые стали*. М.: *Металлургия*, 1980, 243 с.

3. Гуляев А.П., Бадаева А.А. Усталостная прочность инструментальных сплавов. *Металловедение и термическая обработка металлов*, 1959, N7.

4. Околович Г.А., Геллер Ю.А., Моисеев В.Ф., Кальнер В.Д. *Штамповая сталь*. А.с. № 633923.

5. Кальнер В.Д., Шор Ф.И., Суворова С.О. Статистическая усталостная прочность сталей Р6М5 и 6Х4М2ФС при растяжении и сжатии. *МИТОМ*, 1977, N9. С. 47-50.