



European Commission
TEMPUS

It is established that for production of the wood-cutting tool (cutting elements of disk saws, milling and plane knives, etc.) it is reasonable to use chrome-vanadium white cast iron which after processing by hot deformation approximates the high-speed steels and even firm alloys by its operational properties, at considerably lower cost.

А. В. АЛИФАНОВ, ФТИ НАН Беларуси

УДК 621-034.13:669.13

ПРИМЕНЕНИЕ ГОРЯЧЕДЕФОРМИРОВАННОГО ХРОМОВАНАДИЕВОГО БЕЛОГО ЧУГУНА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ДЕРЕВОРЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

Введение

Деревообрабатывающие предприятия Республики Беларусь для обработки древесных и древесно-стружечных материалов используют большое количество разнообразного деревообрабатывающего инструмента. Потребность предприятий республики только в ножах с линейной кромкой составляет более 100 тыс. в год. Потребление рамных и дисковых пил составляет 45–50 тыс. в год. Рост объемов обработки резанием древесины и древесных материалов, наблюдаемый в республике, обусловлен не только увеличением масштаба выпуска продукции, но и повышением требований к точности и качеству обработанных поверхностей, а также расширяющейся номенклатурой обрабатываемых материалов. Наряду с традиционными материалами (древесиной различных отечественных пород, фанерой, древесно-стружечными и древесноволокнистыми плитами и др.) все большее применение находят древесные и бумажные пластики, цементно-стружечные плиты и др. Увеличение объемов резания соответственно приводит к повышению расхода режущего инструмента, из чего вытекает задача повышения стойкости или снижения стоимости режущего инструмента. Все методы повышения стойкости и снижения стоимости режущего инструмента можно разделить на конструктивные, технологические и эксплуатационные. Конструктивные и технологические методы направлены, в первую очередь, на повышение режущих свойств инструментальных материалов. Они включают в себя мероприятия по изысканию и использованию новых инструментальных материалов, методов и режимов их термической обработки. Эксплуатационные методы состоят в том, чтобы поддержать начальный уровень качества ре-

жущего инструмента в течение всего срока его службы. К ним относятся методы подготовки инструмента, в первую очередь, заточки и доводки.

Инструментальные стали и сплавы, применяемые для изготовления дереворежущего инструмента

В химических и электрохимических реакциях, протекающих в зоне контакта инструмента с обрабатываемым материалом, участвуют продукты механической и термической деструкции древесины, происходящей при ее резании. Воздействие продуктов деструкции на инструментальные стали способствует появлению и протеканию коррозионных процессов. В результате накопления коррозионных повреждений в поверхностных слоях возникают микротрещины, являющиеся источником хрупкого выкрашивания. Кроме хрупкого выкрашивания, инструмент подвержен абразивному износу, особенно при обработке определенных древесных материалов (древесностружечных, древесноволокнистых, цементно-стружечных и т. п.). Стойкость деревообрабатывающего инструмента и его себестоимость, а также стоимость повторных переточек и доводок в процессе эксплуатации зависят от применяемых для изготовления инструмента материалов. В настоящее время применяются следующие материалы [1]:

- пилы: рамные – 9ХФ; ленточные – 9ХФ, У10А; круглые – 9ХФ, 65ХФ; круглые строгальные – 9ХФ, Х6ВФ, 9Х5ВФ;
- ножи: для фрезерования – 8Х6НФТ, 9Х5ВФ, Х6ВФ, Р9, Р4; лущильные и строгальные – 9Х5ВФ, Х6ВФ, 85ХФ, 8ХНФТ, Х12, Х12ФТ; рубильные – 6ХС, 55Х7ВСМФ, 55Х6В3СМФ, Р9; стружечные — 9Х5ВФ, Х6ВФ, Р4, Х12Ф1, 9ХС; Р6М5;

- гильотинные ножницы – 9ХС, 9Х5ВФ, 85ВФ;
- пильные цепи – 9ХФ, 7ХНМ;
- фрезы насадные – Х6ВФ, Х96ВФ, Х12Ф, Х12, ХВГ, 9ХС, У9А, Р9, Р18, Р6М5;
- фрезы концевые – Р9Ф2К5, Р18, Х12, ХВГ, В2, 85ХФ, Р6М5;
- сверла и зенкеры – 9Х5ВФ, Х6ВФ, Р9, Х12, ХВГ, В2, 85ХФ;
- токарные резцы – Х12Ф, Р9, Р9Ф2К5, 9ХС, В2, У9А, Р6М5;
- инструмент для окорочных станков – 65Г, 60С2А, 50ХГФА;
- стамески и долота – У7А, У8А;
- пилы ручные – 9ХФ, У8А, У10А, 65ХФ.

Наряду с инструментальными 'сталями для изготовления дереворежущих инструментов широко применяют твердые сплавы, которые превосходят по износостойкости (но и по стоимости) все известные стали. Для инструмента, предназначенного для обработки различных древесных материалов, применяются следующие марки твердых сплавов:

- хвойные породы древесины – ВК15, ВК15-ОМ, ВК20;
- твердолиственные породы древесины – ВК8, ВК10М, ВК 10-ОМ;
- фанера, гнотоклеенные, плоскоклеенные заготовки, пластифицированная древесина – ВК6, ВК8, ВК 10-ОМ, ВК10М;
- древесностружечные, древесноволокнистые, ламинированные плиты, прессованная древесина – ВК3, ВК3М, ВК6, ВК6М, ВК6-ОМ.

Таким образом, очевидно, что для инструмента, воспринимающего значительные динамические нагрузки, следует применять сплавы с повышенным содержанием кобальта, т. е. обладающие более высокими показателями ударной вязкости, а для инструмента, работающего в условиях безударных нагрузок, сплавы с пониженным содержанием кобальта. Однако следует отметить, что стоимость твердосплавных пластин намного выше стоимости стального инструмента (один нож длиной 30 мм из ВК6 стоит по каталогу фирм Liecz, Leuco 35–40 Евро).

Обоснование возможности применения модифицированных белых чугунов для изготовления дереворежущего инструмента

Перспективными материалами для изготовления деревообрабатывающих инструментов являются инструментальные сплавы на основе белых чугунов. В литом состоянии в их структуре формируются два вида эвтектических колоний: аустенит + карбид ванадия и аустенит+карбид ванадия+кар-

биды типа Cr₇C₃. Ванадиево-карбидные каркасы эвтектических колоний повышают их жесткость и сопротивление деформации, что обеспечивает высокую износостойкость материала. Карбиды ванадия хорошо удерживаются матрицей и не склонны к выкрашиванию.

Прочность и вязкость матрицы и ее теплостойкость обусловлены достаточно высоким легированием металлической основы ванадием, хромом, кремнием, обеспечивающими сохранность мартенсита при повышенных температурах и вызывающими его дисперсионное твердение без использования такого дорогостоящего элемента, как вольфрам. Белые хромованадиевые чугуны закалывают от температуры 900–1100 °С в масле для получения высоколегированного аустенита. Отпуск производят при температуре 500–520 °С. При отпуске происходит мартенситное превращение, что обеспечивает эффект вторичного упрочнения. В результате достигаются высокая твердость (63–68 HRC), теплостойкость и износостойкость.

Твердость чугуна практически не зависит от условий охлаждения, в связи с чем возможна его закалка на воздухе. Это качество особенно ценно при использовании чугунных пластин для паяемого инструмента, так как температура нагрева при пайке достигает 900–1000 °С, что соответствует температуре закалки чугунов.

Близость коэффициентов линейного расширения белого чугуна и стали, из которой изготовлен корпус инструмента, резко снижает коробление при пайке, которое чрезвычайно вредно при пайке твердосплавных пластин, так как часто приводит к их растрескиванию.

Теплостойкость белых чугунов находится на уровне теплостойкости быстрорежущей стали Р6М5. Сочетание износостойкости и теплостойкости белых чугунов должно обеспечивать высокую работоспособность инструмента. Например, экспериментальное использование белых хромованадиевых чугунов для дисковых фрез при обработке заготовок из стали 35 обеспечило повышение стойкости фрез (по сравнению с фрезами из стали Р6М5) в 2,0–2,5 раза при значительном улучшении чистоты обработки поверхности деталей.

Кроме указанных выше положительных качеств белых чугунов как материала для деревообрабатывающего инструмента, необходимо отметить, что промышленность нашей республики имеет большие литейные мощности, поэтому получение литых заготовок инструмента не представляет трудностей.

Однако при большом количестве положительных качеств чугунов как материала для дерево-

обрабатывающего инструмента он практически не используется при производстве инструмента из-за ряда недостатков:

- низкая ударная вязкость литой дендритной структуры не обеспечивает должной стойкости, особенно при ударных нагрузках;
- большая, чем при обработке стали Р6М5, трудоемкость механической обработки, заточки и доводки режущих кромок;
- большие литейные припуски на механическую обработку и литейные дефекты;
- при литейной технологии изготовления пластин получается низкий коэффициент использования металла.

Устранить эти недостатки возможно обработкой давлением литых заготовок методом горячей пластической деформации.

Обработка давлением позволяет раздробить грубую литейную структуру металла и карбидную сетку, повысить почти в 1,5–2,0 раза ударную вязкость и предел прочности белого чугуна; максимально приблизить форму заготовки к исполнительным размерам инструмента, т. е. резко снизить затраты на механическую обработку и заточку инструмента; залечить литейные дефекты в виде пор и литейных трещин; использовать эффект высокотемпературной термомеханической обработки для термообработки заготовок; снизить затраты на производство литейных заготовок за счет более простой их формы; исключить алмазно-абразивную заточку при замене твердосплавных режущих элементов на элементы из белого чугуна.

Таким образом, применение белых хромистых или хромованадиевых чугунов в качестве материала для режущих элементов деревообрабатывающего инструмента экономически целесообразно и позволяет отказаться от импорта дорогостоящего инструмента путем налаживания собственного производства в Республике Беларусь дешевого деревообрабатывающего инструмента.

Опытная технология изготовления режущих элементов деревообрабатывающего инструмента методом горячего пластического деформирования

Выше дано подробное описание получения литых заготовок из хромованадиевого белого чугуна. Проведенные исследования образцов из этого чугуна показали, что данный чугун является термодинамически устойчивым, т. е. он не склонен к выделению графита при повышенных температурах.

Как было отмечено, для получения структуры белого чугуна, которая будет обеспечивать высо-

кие показатели твердости и износостойкости, а также других механических свойств, необходимо подвергнуть полученные литые заготовки горячей пластической деформации.

Пластическую деформацию белого чугуна можно осуществлять, например, следующими способами: горячей объемной штамповкой; горячей прокаткой.

В связи с этим были разработаны два варианта технологического процесса.

В соответствии с первым вариантом заготовку режущего элемента получали с помощью горячей объемной штамповки в прямоугольной матрице с противодавлением. Схема инструмента показана на рис. 1.

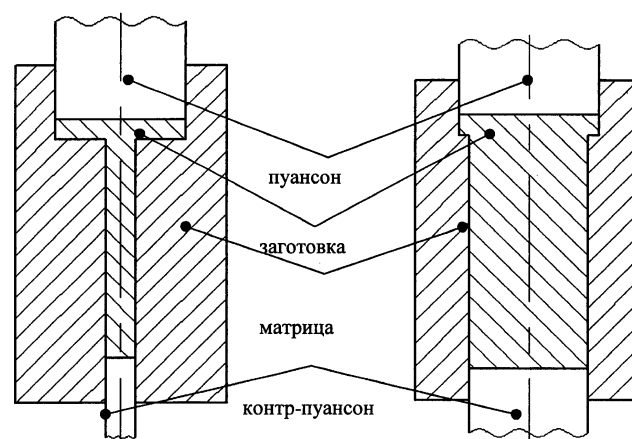


Рис. 1. Схема инструмента для объемной штамповки: а — боковой разрез; б — фронтальный разрез

Выбор оборудования для осуществления штамповки происходил на основе расчета усилия штамповки по формуле [3]:

$$P = \pi r_п^2 \bar{p} \sigma_s, \quad (1)$$

где $r_п$ — радиус пуансона, м; σ_s — предел текучести; \bar{p} — относительное удельное усилие выдавливания, т. е. безразмерный критерий:

$$\bar{p} = a_1 + a_2 \frac{h_d}{R_i} + a_3 \frac{R_i}{h_d}, \quad (2)$$

где a_1, a_2, a_3 — постоянные, зависящие от геометрических размеров, условий трения и стадии процесса; h_d — глубина распространения очага пластической деформации, м:

$$h_d = R_m \sqrt{\frac{a_3}{a_2}},$$

где R_m — радиус матрицы, м.

Постоянные a_1, a_2, a_3 определяются по формулам:

$$\begin{cases} a_1 = 1 + \frac{c}{\sqrt{3}} + \frac{2\mu k_{\Pi}}{1-r}, \\ a_2 = \frac{1 + \mu r \sqrt{3}}{r \sqrt{3} (1-r^2)}, \\ a_3 = \frac{1}{3\sqrt{3}} \left[r(\mu\sqrt{3} + K_0) + (1 + K_0) \frac{2 - 3r + r^{-3}}{1-r^2} \right], \end{cases} \quad (3)$$

где

$$c = \frac{1}{1-r^2} \left[2 - r^{-2} \sqrt{3 + \frac{1}{r^2}} + \ln \frac{1}{3} \left(\frac{1}{r^2} + \sqrt{3 + \frac{1}{r^2}} \right) \right];$$

$K_0 = 1$; μ – коэффициент трения пары «деформируемая заготовка–инструмент»; k_{Π} – относительная высота калибрующего пояска пуансона: $k_{\Pi} = l_k/r_{\Pi}$; r_{Π} – приведенный радиус пуансона по калибрующему пояску, м; r – относительный радиус пуансона: $r = r_{\Pi}/R_M$.

В качестве исходной заготовки использовался пруток диаметром 27,4 мм и длиной 23 мм.

Величина усилия P , вычисленная по формуле (1), равна 0,993 МН.

Штамповку заготовки осуществляли при температуре 1000–1050 °С. Для того чтобы уменьшить скорость охлаждения заготовки и разгар инструмента, перед операцией штамповки необходимо нагреть штамп до температуры 430–450 °С. Для уменьшения трения использовали смазку на основе индустриального масла марки И40. Чтобы обеспечить при деформировании неравномерное напряженное состояние сжатия, штамповку осуществляли с противодавлением с помощью пневмомаркета усилием 270 МПа (рис. 1). Так как заготовка нагревается в индукционной установке, то отпадает необходимость в применении специальных устройств для очистки заготовок от окалины, что, конечно же, снижает стоимость процесса получения заготовок режущих элементов. Однако процесс горячего выдавливания низкопроизводительный. Кроме того, в процессе выдавливания остается пресс-остаток, т. е. снижается коэффициент использования металла. Во время процесса выдавливания возникают большие нагрузки на инструмент, что значительно снижает стойкость инструмента.

Указанных недостатков лишены процессы прокатки. Поэтому был разработан технологический процесс горячей продольной прокатки.

Так как хромованадиевый белый чугун относится к труднодеформируемым материалам (по сопротивлению деформации его можно сравнить с быстрорежущими сталями), необходимо прово-

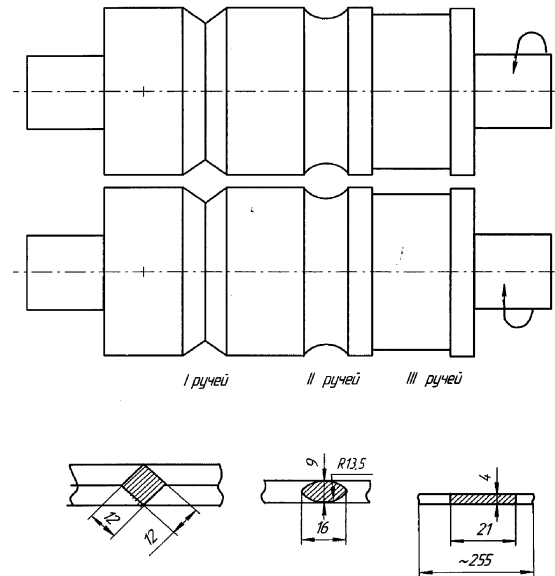


Рис. 2. Калибрующие валки

дить процесс его деформирования в несколько переходов в калибровочных валках, чтобы создать наиболее благоприятные условия деформирования.

Деформирование проводили по схеме: квадрат → овал → прямоугольник (рис. 2).

Величину вытяжки определяли по формуле:

$$\eta = \frac{F_0}{F}, \quad (4)$$

где F_0 , F – площадь поперечного сечения до и после прокатки, м², а уширение Δb по формуле [4]:

$$\Delta b = \left(1 + \frac{\Delta h}{H} \right) \left(\mu \sqrt{R \Delta h} - \frac{\Delta h}{2} \right) \frac{\Delta h}{H}, \quad (5)$$

где Δh – абсолютное обжатие:

$$\Delta h = H - h,$$

где h , H – высота заготовки после и до прокатки, м; μ – коэффициент трения; R – радиус валков.

Результаты расчета по каждому переходу приведены в таблице.

| Показатель | 1-й калибр | 2-й калибр | 3-й калибр |
|------------------------|------------|------------|------------|
| F_0 , м ² | 0,000177 | 0,000144 | 0,000452 |
| F , м ² | 0,000144 | 0,000452 | 0,000084 |
| η | 1,229 | 0,318 | 5,4 |
| H , м | 0,015 | 0,012 | 0,009 |
| h , м | 0,012 | 0,009 | 0,004 |
| R , м | 0,4 | 0,4 | 0,4 |
| Δh | 0,003 | 0,003 | 0,005 |
| Δb | 0,0014 | 0,0018 | 0,006 |
| μ | 0,3 | 0,3 | 0,3 |

Прокатку проводили при температуре 1000–1050 °С, нагрев заготовки перед каждым пропуском – в печи СНОЛ 30/1100, предварительно нагретой до температуры 1080 °С. Для прокатки использовали стан прокатный 6М195.

По результатам прокатки были получены заготовки под последующее изготовление пластин для дереворежущего инструмента.

Из проведенных исследований можно сделать вывод о том, что процесс горячей прокатки наиболее приемлем для массового производства заготовок лезвий дереворежущего инструмента в силу следующих причин: простота изготовления инструмента; высокая по сравнению с выдавливанием производительность; высокий коэффициент использования металла.

После получения заготовок, отлитых по ранее описанной технологии, проводили замеры твердости, которые показали, что у отожженного литого белого легированного чугуна в зависимости от химического состава твердость варьируется от 40 до 55 HRC и у закаленного – от 58 до 64 HRC.

После пластической деформации белого легированного чугуна, в частности после прокатки, твердость чугуна возросла до 60–65 HRC. Это объясняется тем, что пластическая деформация уплотнила структуру чугуна, т. е. можно сделать вывод, что пластическая деформация в значительной степени способствует улучшению физико-механических свойств белого легированного чугуна без дополнительной термической обработки. Если же деформированный белый легированный чугун

подвергнуть дополнительной термической обработке, то можно достигнуть значений твердости порядка 65–74 HRC.

После получения плоских заготовок режущих элементов указанными выше методами горячего пластического деформирования их необходимо обрезать механическим путем (отрезным абразивным кругом) до заданного размера по длине (в нашем случае выдержать длину заготовки 40 мм). Затем партию заготовок режущих элементов из 25 шт. зажимают в тисках инструментальных и шлифуют на плоскошлифовальном станке размером от 4×16×40 до 3,2×15×40 мм. После чего заготовки режущих элементов из белого чугуна могут быть использованы для изготовления фрезерных деревообрабатывающих ножей [5].

Выводы

В результате проведенных исследований установлено, что для изготовления дереворежущего инструмента (режущих элементов дисковых пил, фрезерных и строгальных ножей и т. п.) целесообразно использовать хромованадиевый белый чугун, который после обработки горячим деформированием по своим эксплуатационным свойствам приближается к быстрорежущим сталям и даже твердым сплавам при гораздо меньшей стоимости.

Литература

1. Афанасьев П. С. Станки и инструменты деревообрабатывающих предприятий. М.: Лесная промышленность, 1968.
2. Гуляев А. П. Металловедение. М.: Металлургия, 1966.
3. Сторожев М. В., Попов Е. А. Теория обработки металлов давлением. М.: Высш. шк., 1963.
4. Северденко В. П. Основы теории прокатки. Мн.: Наука и техника, 1969.
5. Алифанов А. В. Перспективы применения белых хромованадиевых чугунов для изготовления деревообрабатывающего инструмента / А. В. Алифанов, В. А. Тиманюк, Н. В. Бурносос // Тр. БГТУ. Сер. 2 «Лесная и деревообрабатывающая промышленность». Вып. IX. Минск, 2001. С. 112–115.