

Д. В. Козорозов, В. Г. Барабанов

**АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ КОНСТРУКТИВНЫХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
ПАРАМЕТРОВ НОЖНИЦ НА ПРОЦЕСС РЕЗКИ**

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: dan4ikan@gmail.com, vbarabanov@vstu.ru

В работе проведено исследование параметров ножниц, влияющих на режимы резки, таких как угол реза, боковой зазор и затупление ножей. Эти параметры существенно определяют как качество реза, так и энергозатраты, связанные с процессом. Основное внимание уделяется форме ножей и их конструкции, а также влиянию трения на боковых поверхностях. Подробно рассматривается взаимоотношение угла заострения и усилия реза, а также оптимальные параметры для достижения минимальных энергозатрат и высококачественного реза.

Ключевые слова: ножницы поперечной резки, резка металла

D. V. Kozorozov, V. G. Barabanov

**ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF THE DESIGN AND TECHNOLOGICAL
PARAMETERS OF SCISSORS ON THE CUTTING PROCESS**

Volgograd State Technical University

The article investigates the parameters of scissors that affect the cutting modes, such as the cutting angle, side gap and blunt knives. These parameters significantly determine both the cutting quality and the energy consumption associated with the process. The main focus is on the shape of the knives and their construction, as well as the effect of friction on the side surfaces. The relationship between the sharpening angle and the cutting force, as well as optimal parameters for achieving minimal energy consumption and high-quality cutting, is considered in detail.

Keywords: cross-cutting scissors, metal cutting

Параметры ножниц с катящимся резом (НКР), такие как угол реза, боковой зазор, степень затупления ножей и прочие, влияют на режимы резки, и от них в значительной мере зависят качество реза и энергозатраты. Рассмотрим наиболее ключевые из этих параметров.

Формы ножей. Во время резки на боковых поверхностях ножей возникает трение, которое в некоторых случаях может составлять 8...10 % от общей мощности реза [1]. Это приводит к возникновению складок на разрезаемой поверхности листа. Для уменьшения сопротивления трению между верхним и нижним ножами и материалом в ножах могут выполняться пазы, показанные на рис. 1, д.

При изменении угла заострения β в пределах от 90 до 80 градусов (рис. 1, г) усилие реза уменьшается на 20–25 %. В настоящее время поперечное сечение ножей для ножниц гильотинного типа обычно принимают в форме прямоугольника (заострение 90 градусов), высота которого в 2,5...3 раза больше толщины. Благодаря этому, получаются четыре режущие кромки, и нож реже нуждается в переточке. При использовании дугообразного ножа (рис. 2, а) на участках входа ножа в металл и выхода из него расчетные усилия реза имеют более или менее выраженные пики, превышающие значения, соответствующие участку установившейся обкатки. Это связано с тем, что вначале реза заглубление ножа в металл производится при малых углах.

Углом реза α называется угол наклона верхнего ножа к нижнему (рис. 3). Для НКР, имеющих закругленный нож, за угол реза можно принять угол наклона хорды, соединяющей точку врезания ножа в металл А и точку отрыва металла В, или угол наклона касательной в точке F приложения силы реза $F_{рез}$. Его величина существенно влияет на качество отрезаемых полос. Оптимальным с точки зрения качества считается рез параллельными ножами, при котором лист режется сразу по всей ширине ($\alpha = 0$). При этом не происходит искривления отрезаемого края заготовки, и затраты энергии на рез оказываются минимальными.

Угол реза не должен превышать угол трения между листом и верхним ножом, и поэтому его величина ограничена. Практически, α не принимают свыше 6 градусов, при котором выталкивающее лист из-под ножей горизонтальное усилие $-F_{гор} = F_1 \tan \alpha$ не превышает 11 % от максимального усилия реза $F_{макс}$ [2]. На его величину влияют радиус верхнего ножа R, перекрытие ножей Δ , толщина листа h. С увеличением Δ или h, угол реза возрастает. Влияние угла реза α на главное усилие реза определяется в основном двумя противоположно действующими факторами: с одной стороны, с увеличением угла реза уменьшается поперечное сечение заготовки, находящееся между ножами, что ведет к уменьшению силы реза.

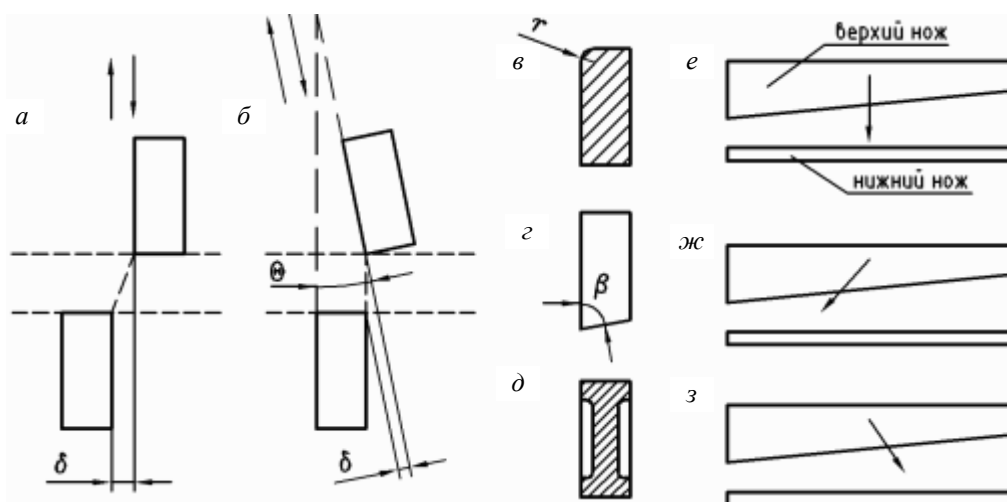


Рис. 1. Боковой зазор между ножами:

а – при параллельном движении верхнего ножа к нижнему; б – при наклонном; в – радиус затупления режущей кромки; г – угол заострения; д – паз для уменьшения силы трения; направление движения гильотинного ножа: е – при вертикальном резе; жс – тянущем; з – толкающем



Рис. 2. Применяемые формы ножей:
 а – дугообразный нож с постоянным радиусом кривизны; б – составленный из трех дуг разного радиуса;
 в – нож, составленный из четырех пластин

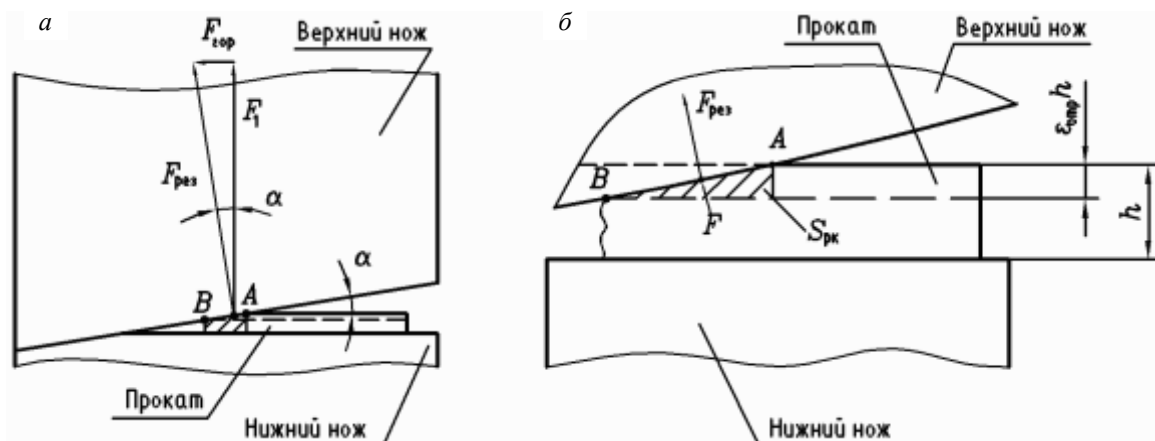


Рис. 3. Угол реза:
 а – гильотинных ножниц; б – ножниц с катящимся резом;
 А – точка врезания; В – точка отрыва металла

С другой стороны, при больших углах реза имеет место большее упрочнение материала, чем при малых, следствием чего должно появиться увеличение сил реза.

С целью уменьшения усилия врезания при резке на НКР листов шириной, меньше максимальной, лист заранее смещают вдоль нижнего ножа в сторону окончания реза. При этом уменьшается режущий клин, что снижает пиковую нагрузку. Однако, следует отметить, что это может использоваться лишь в том случае, когда нож движется только в одном направлении.

Кроме этого, возможны различные варианты уменьшения максимального значения усилия реза с помощью профилировки режущей части ножа. Для этого сокращают площадь среза, оказывающую сопротивление резанию, путем увеличения угла реза α на участках врезания и выхода ножа из металла при данной кинематике ножниц. Радиусы кривизны режущей кромки в зоне врезания должны быть увеличены по сравнению с радиусом основного участка и уменьшены в зоне выхода рис. 2, б. Для исключения пиков нагрузки, возникающих при скачкообразном изменении кривизны режущей кромки.

Конструкция составного ножа содержит державку и четыре ножевых пластины, имею-

щие форму параллелепипедов и образующие ребрами боковых граней режущую кромку в виде ломаной линии рис. 2, в. Пиковую нагрузку можно устранить полностью, если углы реза в начале внедрения и в конце выхода ножа из листа равны и не превышают угол реза при установившемся процессе разделения листа. В данном случае при резке листа максимальной шириной 3450 мм усилие реза уменьшается примерно на 30 % по сравнению с дугообразным ножом.

Степень затупления ножей. Притупление ножей характеризуется радиусом режущей кромки r . Оно оказывает большое влияние на величину полного усилия реза. Затупление ножей приводит к увеличению прочности на срез вследствие большей деформации металла. В результате увеличения силы реза увеличивается также распорная сила $F_{расп}$, благодаря которой стол ножниц и балка ножа прогибаются больше, чем при резе острыми ножами. Это ведет к увеличению бокового зазора между ножами, что, как указывалось раньше, также неблагоприятно сказывается на качестве реза.

Искусственное затупление режущих кромок ножей до радиуса $r = 4$ мм вызывает при разрезании сутунок из стали 20 толщиной 14 мм повышение усилия реза, по сравнению с резанием

острыми ножами, на 60 %. Кроме того, резание сопровождается образованием значительных заусенцев. Стойкость ножей кромкообрезных НКР в зависимости от пропускной способности ножниц составляет 2–3 дня. Не ухудшая значительно поверхности среза разрезаемого металла, можно допускать затупление режущих кромок ножей до

$$r = (0,25 \dots 0,30) \varepsilon_{omp} h,$$

где ε_{omp} – коэффициент относительного отрыва металла; h – толщина разрезаемого листа. Влияние притупления в таком случае должно учитываться увеличением полного усилия реза на 15...20 %. Приведены зависимости увеличения силы реза (в процентах) от толщины и радиуса затупления (рис. 3).

Скорость резки. Во многих источниках указывается на наличие зависимости усилия реза от скорости движения ножа. Вместе с тем, сведений о влиянии скорости движения режущего инструмента на качество кромки и усилие реза в литературе очень мало.

Скорость удара режущего инструмента оказывает сравнительно небольшое влияние при резке мягких и пластичных материалов. Что касается твердых и хрупких материалов, то эксперименты, проводимые на прессах, показали, что при резке образцов на медленно двигающемся гидравлическом прессе необходимое усилие сдвига будет на 15...18 % больше, нежели на механическом прессе с высокой ударной скоростью.

При резании металлов при температурах ниже границы рекристаллизации (составляющей 550...650 °C), не было обнаружено никакого влияния скорости реза $V_{рез}$. Приведена зависимость предела прочности σ_b от скорости деформации для низко-углеродистых сталей (рис. 4) при различных температурах. Из нее видно, что с увеличением температуры уменьшается предел прочности. Средняя скорость деформации определяется выражением

$$u_d = \frac{1}{l} \cdot \frac{dl}{dt},$$

где l – первоначальная длина деформируемого образца; $\frac{dl}{dt}$ – скорость растяжения.

Толщина проката h . При постоянном угле реза α , площадь среза и, таким образом, сила реза, определяются толщиной материала. На одних и тех же ножницах, т. е. при сохране-

нии их конструктивных характеристик, полное усилие реза при разрезании одной и той же марки стали убывает с уменьшением h не пропорционально h_2 , а несколько меньше, и это расхождение особенно увеличивается при малых толщинах разрезаемого металла. Уменьшение толщины вызывает относительное увеличение составляющей полного усилия реза, учитывающей изгиб разрезаемого металла в зоне резания. Кроме того, при резке тонкого проката, величина относительного надреза $\varepsilon_{над}$, учитывающая относительную толщину деформированного («заглаженного») материала до наступления скола, возрастает. По вышеперечисленным причинам удельная энергия $E_{рез}/S_p$, приходящаяся на рез единицы площади разрезаемого металла, с уменьшением толщины возрастает.

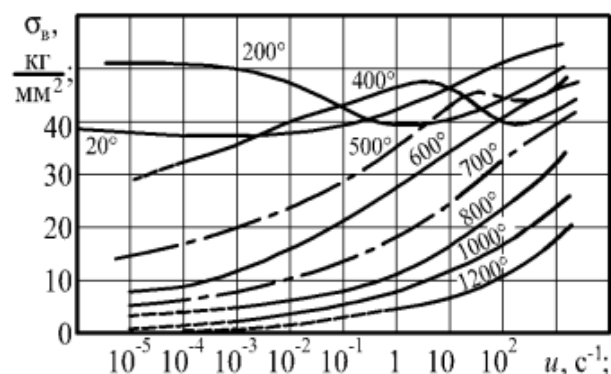


Рис. 4. Влияние скорости деформации и температуры на предел прочности

Анализ существующих механизмов резания и тенденций их развития показывает, что дальнейшее совершенствование механических систем синхронизации движения ножа и систем их управления имеет ряд ограничений, которые не позволяют обеспечить оптимальную траекторию движения ножа.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сафронова, Т. В. Энергосиловые параметры при резке толстолистового проката на ножницах. / Т. В. Сафронова // Теория и технология производства толстого листа. – М. : Металлургия, 1986. – С. 97–92.
2. Машины и агрегаты металлургических заводов : учеб. для студентов металлургических и машиностроительных специальностей вузов: в 3 т. / А. И. Целиков, П. И. Полухин, В. М. Гребеник [и др.]. – 2-е изд., перераб. и доп., стер. – М. : Альянс, 2018. – 576 с.