

*к.т.н. Боровик П.В.
(ДонГТУ, г. Алчевск, Украина, borovikpv@mail.ru)*

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ХИМСОСТАВА СТАЛИ НА УДЕЛЬНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ РЕЗКЕ В ПРОЦЕССЕ ГОРЯЧЕГО РАЗДЕЛЕНИЯ НА НОЖНИЦАХ

Наведено результати теоретичних досліджень процесу гарячого різання на ножницях з урахуванням хімічного складу сталі. Проаналізовано вплив фактичного хімічного складу сталі на енергосилові параметри процесу різання на ножницях. Вказується, що врахування хімічного складу сталі сприяє підвищенню точності розрахунку сили гарячого різання на ножницях.

Ключові слова: *ножиці, хімічний склад, питомий опір.*

Приведены результаты теоретических исследований процесса горячей резки на ножницах с учетом химсостава стали. Проанализировано влияние фактического химсостава стали на энергосиловые параметры процесса резки на ножницах. Указывается, что учет химсостава стали способствует повышению точности расчета силы горячей резки на ножницах.

Ключевые слова: *ножницы, химический состав, удельное сопротивление.*

Интенсификация прокатного производства и повышение требований к готовому металлопрокату определяют необходимость более глубокого изучения явлений, происходящих при реализации различных технологических процессов и уточнения энергосиловых параметров.

Одной из технологических операций при производстве металлопроката является резка на ножницах с целью придания ему необходимой формы и размеров [1,2]. В технологических линиях прокатных станов используют разнообразные конструкции ножниц для деления металлопроката, при этом операции резки осуществляют в холодном или в горячем состоянии.

Фактические значения силы резки на ножницах могут несколько отличаться от расчетных, что является следствием несовершенства существующих методик расчета, которые не учитывают ряд важных факторов.

В классических методиках расчета процессов резки [1,2] при расчете сопротивления срезу отталкиваются от предела прочности материала, который, могут принимать одинаковым сразу для нескольких марок, что не всегда соответствует действительности, особенно при высоких температурах.

В тоже время, применительно к процессам горячей прокатки, существуют методики, позволяющие определять сопротивление деформации в зависимости от химического состава обрабатываемой марки стали [3]. Уточнение расчёта силы резки было сделано в методике В.Ф. Егорова и В.И. Люленкова [4]. Данная методика позволяет учесть изменение механических свойств разрезаемого металла в зависимости от температуры нагрева, размеров поперечного сечения, бокового зазора между ножами, степени притупления ножей, скорости резки, а также от содержания в стали трех химических элементов – углерод, хром и никель. Основными недостатками данной методики является ограниченная оценка влияния химического состава разрезаемых сталей и косвенный учет скорости резки на энергосиловые параметры процесса. Таким образом, существует необходимость расширения спектра производимых исследований и развития методов расчета энергосиловых параметров процесса резки на ножницах, базирующихся на современных представлениях о течении и разрушении металла в ходе пластической деформации с использованием математического моделирования методом конечных элементов (МКЭ) [5].

Целью данной работы является оценка влияния химического состава на удельное сопротивление резке при горячем разделении металла на ножницах, путем математического моделирования на базе МКЭ.

Для достижения данной цели проводились теоретические исследования в среде программного комплекса Abaqus на базе конечно-элементной математической модели, описывающей плоскую задачу резки параллельными ножами и учитывающей жесткость станины и термодинамические эффекты при деформации материала [6].

На первом этапе исследования производилась оценка достоверности результатов моделирования, путем сравнения их с экспериментальными данными. В качестве исходных данных для моделирования были взяты результаты экспериментальных исследований процесса горячей резки параллельными ножами приведенные в работе [1], которые были получены на образцах сечением 25x25 мм при скорости резки около 300 мм/с. Химический состав, разрезаемых образцов и температура реализации процесса приведены в таблице 1.

При построении кривых текучести материала, использовалась методика расчета сопротивления деформации Андреюка-Тюленева [3], которая учитывает влияние химического состава обрабатываемой стали и

позволяет охватить широкий диапазон марок сталей от углеродистых, до высоколегированных, в том числе жаропрочных. А, поскольку, использование данной методики дает завышенные результаты, то после расчета напряжений текучести использовался поправочный коэффициент $k_n = 0,53$.

Таблица 1 – Фактический химический состав исследуемых сталей и температура резки [1]

Марка стали	Химический состав, %								Температура резки, °C
	C	Mn	Si	Cr	Ni	Cu	P	S	
20	0,20	0,52	0,24	0,04	–	–	0,026	0,030	650; 760; 970
50	0,47	0,58	0,23	0,05	–	–	0,027	0,030	660; 760; 980
ШХ 10	0,40	0,55	0,33	1,10	0,13	–	0,024	0,027	670; 780; 1090
75	0,75	0,63	0,31	0,15	–	–	0,028	0,020	700; 860; 1020

Для моделирования разрушения использовалась диаграмма пластичности стали Ст3, аналитическая зависимость для которой, в исследуемом диапазоне температур и скоростей деформаций, представлена в работе [7].

Для сравнения на рис. 1 представлены кривые удельного сопротивления резке по результатам моделирования и экспериментальным данным, которые подтверждают адекватность результатов моделирования, т.к. разница между экспериментальными и расчетными данными величины максимального удельного сопротивления горячей резке не превысила 10%.

На втором этапе, было произведено моделирование (при прочих равных условиях) для этих же марок сталей, но для химического состава регламентируемого ГОСТом (табл. 2), при минимально и максимально допустимом содержании химических элементов.

Таблица 2 – Химический состав сталей согласно ГОСТа

Марка стали	Химический состав, %							
	C	Mn	Si	Cr	Ni	Cu	P	S
20	0,17-0,24	0,35-0,65	0,17-37	≤0,25	≤0,25	≤0,25	≤0,04	≤0,04
45	0,42-0,50	0,50-0,80	0,17-37	≤0,25	≤0,30	≤0,30	≤0,035	≤0,04
ШХ 10	0,32-0,42	0,40-0,70	0,17-37	0,8-1,2	≤0,20	≤0,25	≤0,03	≤0,03
75	0,72-0,80	0,50-0,80	0,17-37	≤0,25	≤0,25	≤0,20	≤0,035	≤0,035

По результатам моделирования были получены кривые удельного сопротивления резке представленные на рис. 2.

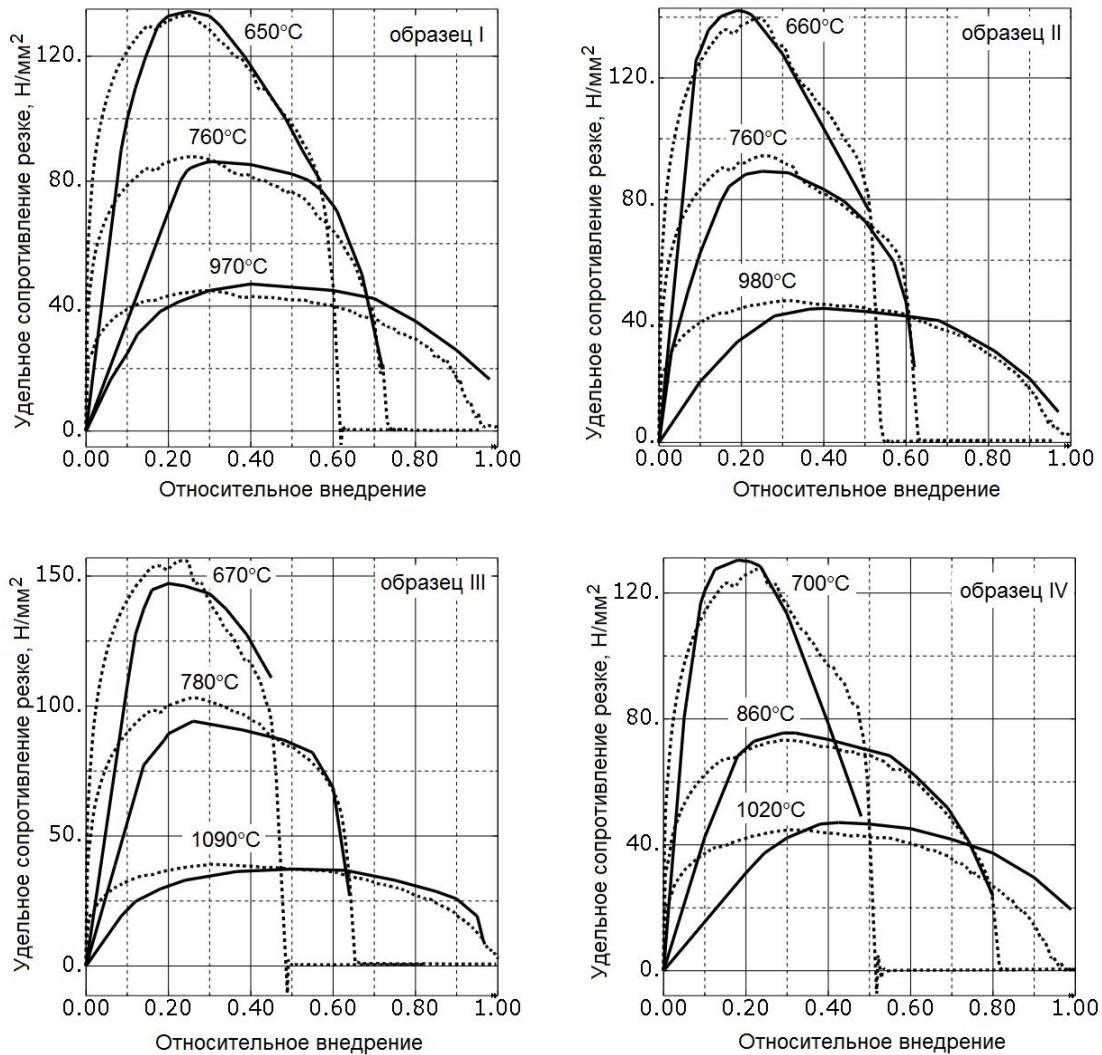


Рисунок 1 – Кривые удельного сопротивления резке по результатам моделирования (пунктирная линия) и экспериментальным (сплошная линия) данным, согласно условий [1] (см. табл. 1)

На рис. 3 представлены отношения удельного сопротивления резке, полученные по результатам моделирования, при минимально допустимом содержании химических элементов к максимально допустимому, в зависимости от температуры. Как можно видеть из представленных зависимостей для всех рассмотренных марок сталей наблюдается общая тенденция к расширению диапазона варьирования значений удельного сопротивления при снижении температуры, в тоже время интенсивность изменения зависит от марки стали. Кроме того, можно отметить, что представленные зависимости носят практически линейный характер, хотя для стали ШХ10 можно наблюдать некоторую нелинейность, что можно объяснить более высоким содержанием хрома.

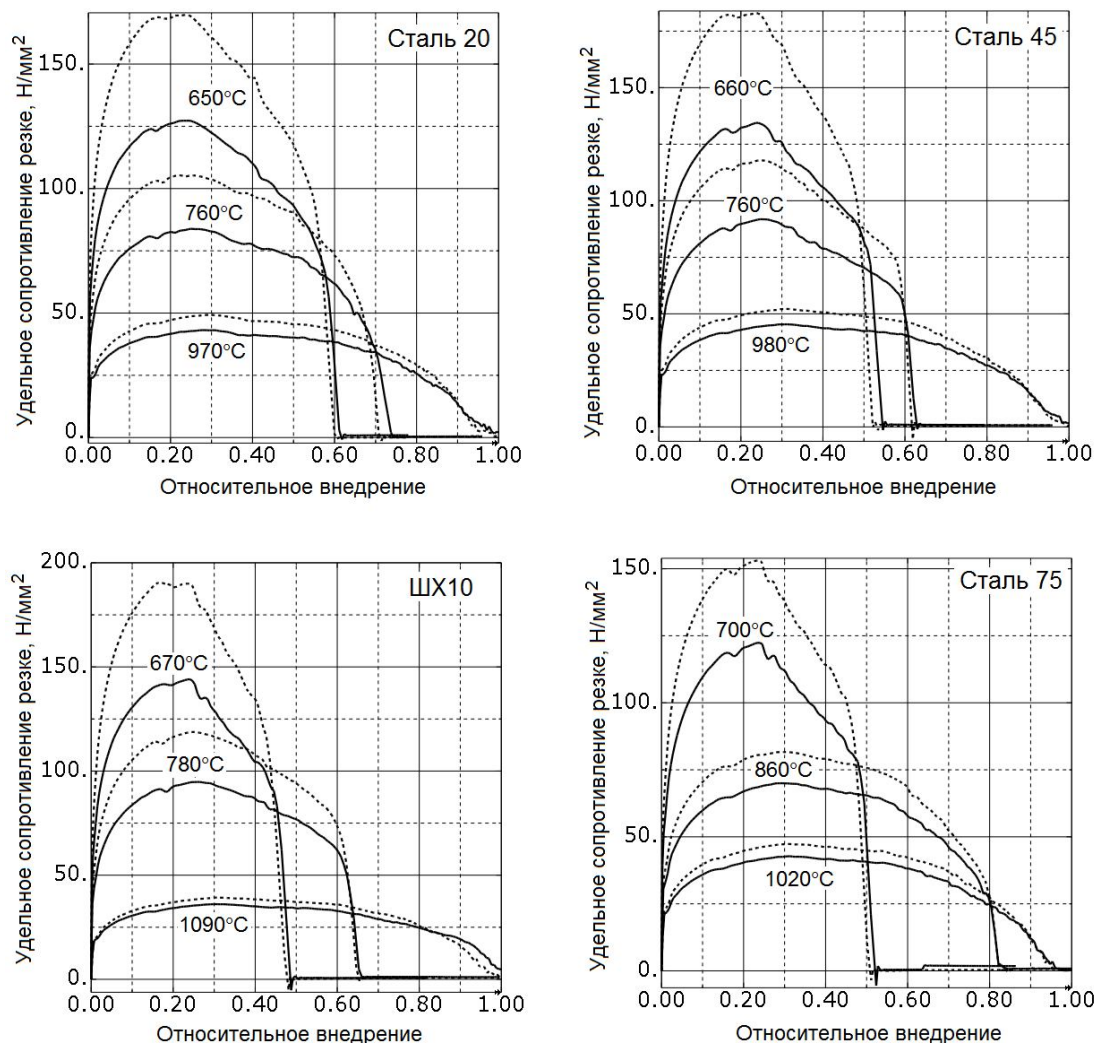


Рисунок 2 – Кривые удельного сопротивления резке по результатам моделирования при минимально (—) и максимально (- - -) допустимом содержании химических элементов

Таким образом, можно утверждать, что для одной и той же марки стали энергосиловые параметры процесса горячей резки зависят от фактического содержания химических элементов. При этом необходимо отметить, что степень влияния определяется не только процентным содержанием химических элементов, но и температурой резки, а характер влияния зависит от набора химических элементов, входящих в состав разрезаемой стали.

Так для исследуемых марок стали, по результатам моделирования, разница между удельным сопротивлением при максимальном и минимальном содержании элементов составила: при температуре 1000°C – 10-12,5%, а при температуре 650°C – 22-27%, что следует считать суще-

ственным, требующим учета при определении энергосиловых параметров процесса горячей резки на ножницах.

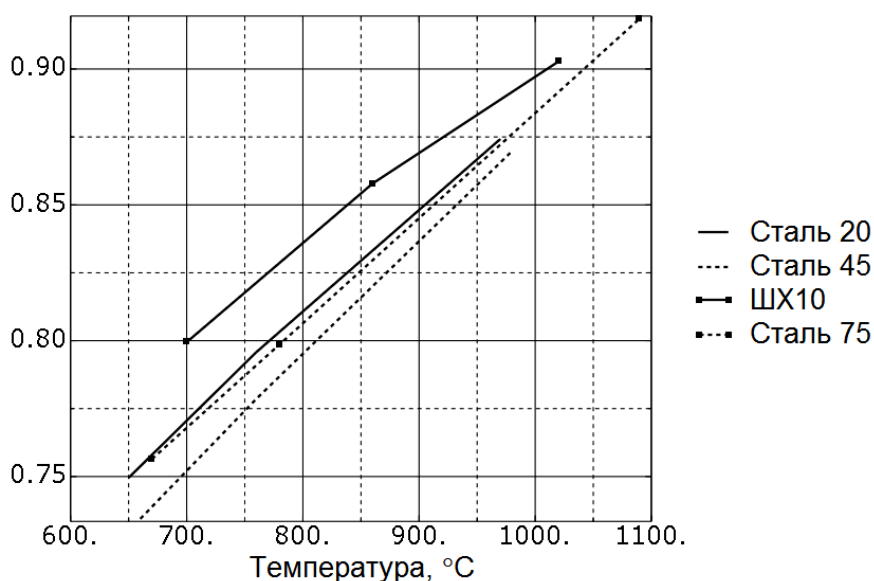


Рисунок 3 – Отношение удельного сопротивления резке, полученные по результатам моделирования, при минимально допустимом содержании химических элементов к максимально допустимому, в зависимости от температуры для исследуемых марок стали

По результатам работы можно сделать следующие выводы:

1. Изменение процентного содержания химического состава стали, регламентируемого ГОСТом, оказывает влияние на энергосиловые параметры процесса горячей резки на ножницах.

2. Разница между удельным сопротивлением резке при минимально допустимом содержании химических элементов и максимально допустимом, зависит от фактического содержания химических элементов, при чем с уменьшением температуры разница возрастает и в диапазоне температур 1000-650°C для исследуемых марок стали может составлять 10-27%.

Результаты работы могут быть использованы при исследованиях и развитии методов расчета процесса горячей резки на ножницах.

Библиографический список

1. Целиков А. И. Прокатные станы : учебник для вузов / А. И. Целиков, В. В. Смирнов. – М. : Металлургиздат, 1958. – 432 с.

2. Королев А. А. Конструкция и расчет машин и механизмов прокатных станов / А. А. Королев. – М. : Металлургия, 1985. – 375 с.

3. Коновалов Ю.В. Расчет параметров листовой прокатки: справочник / Ю. В. Коновалов, А. Л. Остапенко, В. И. Пономарев. – М.: Металлургия, 1986. – 430 с.

4. Иванченко Ф. К. Розрахунок машин і механізмів прокатних цехів : навч. посібник / Ф. К. Иванченко, В. М. Гребеник, В. І. Ширяєв. – К. : Вища шк., 1995. – 455 с.

5. Боровик П.В. Новые подходы к математическому моделированию технологических процессов обработки давлением: монография / П. В. Боровик, Д. А. Усатюк. – Алчевск : ДонДТУ, 2011. – 299 с.

6. Боровик П. В. Влияние деформационного нагрева на результаты математического моделирования процесса резки на ножницах / П. В. Боровик. / Сборник научных трудов ДонГТУ. – Алчевск, 2012. – Вып. 37. – С. 135-140.

7. Паришин В. А. Деформируемость и качество / В. А. Паришин, Е. Г.Зудов, В. Л. Колмогоров. – М. : Металлургия, 1979. – 192 с.

Рекомендована к печати к.т.н., проф. Ульяницким В.Н.