

Ersetzt Ausgabe Mai 1995

Inhalt:

- 1 Zweck und Anwendungsbereich des Merkblattes
- 2 Prozessführung
- 3 Energieumsetzung bei Strahlschweißanlagen
- 4 Wirkungsgradbegriffe bei Strahlschweißanlagen
 - 4.1 Innerer und Äußerer Wirkungsgrad der Strahlquelle
 - 4.2 Wirkungsgrad der Strahlführung und der Strahlformung η_F
 - 4.3 Wirkungsgrad des Strahlerzeugers η_S (nur bei Elektronenstrahlschweißanlagen)
 - 4.4 Gerätetechnischer Wirkungsgrad η_G
 - 4.5 Prozesswirkungsgrad η_P
 - 4.6 Gesamtwirkungsgrad
- 5 Beispiele
 - 5.1 Beispiel Elektronenstrahlschweißen
 - 5.2 Beispiel CO₂-Laserstrahlschweißen
- 6 Schrifttum

1 Zweck und Anwendungsbereich des Merkblattes

Bei Elektronenstrahl- und Laserstrahlschweißprozessen stellt der Wirkungsgrad für die Beurteilung der Energieumsetzung und -übertragung eine charakteristische Größe dar. Im Falle der energetischen Betrachtung von Strahlschweißprozessen muss dabei zwischen unterschiedlichen Wirkungsgradbegriffen und ihren jeweiligen Bilanzhüllen unterschieden werden, Bild 1. Die Wirkungsgrade basieren auf physikalischen Größen und dienen der Darstellung der Energieübertragungs- und -umsetzungsverhältnisse. Es bestehen komplexe Abhängigkeiten des Wirkungsgrades vom Werkstoff, der Strahlqualität und weiteren Prozessgrößen.

Dieses Merkblatt beschreibt die unterschiedlichen Wirkungsgrade [1] und erläutert, wie diese durch Schweißanlage, Werkstoff

und andere Faktoren beeinflusst werden. Das Merkblatt soll keine umfassende fachtheoretische Abhandlung sein – hierzu sei auf die Literatur verwiesen –, vielmehr soll dem Praktiker ein grundlegender Einblick in die wichtigsten Begriffe und soweit nötig auch physikalische Grundlagen vermittelt werden, etwa zum besseren Verständnis von technischen Unterlagen.

Grundsätzlich kann aus den Wirkungsgraden allein nicht auf die Wirtschaftlichkeit der jeweiligen Anlage geschlossen werden.

Das Merkblatt orientiert sich am Stand der Technik zum Zeitpunkt der Drucklegung. Entwicklungen im Bereich der Laser- und Elektronenstrahltechnik lassen noch Verbesserungen der Wirtschaftlichkeit erwarten.

2 Prozessführung

In Abhängigkeit von der Leistungsdichte kann bei den Strahlschweißprozessen zwischen Wärmeleitschweißen und Tiefschweißen unterschieden werden. Charakteristisch für das Tiefschweißen ist die Ausbildung des so genannten Dampfkanals. Bei dessen Bildung wird ein erheblicher Anteil der absorbierten Energie zum Verdampfen aufgewendet.

3 Energieumsetzung bei Strahlschweißanlagen

Nur ein Teil der Anschlussleistung der Anlage ist als elektrische Wirkleistung nutzbar. Die sich durch induktive Blindwiderstände ergebenden Blindleistungen können nicht genutzt werden. Sie führen zwar nicht direkt zu Verlusten in der Anlage, ergeben aber Wirkleistungsverluste in den Zuleitungen, die durch Blindleistungskompensation weitgehend vermieden werden können.

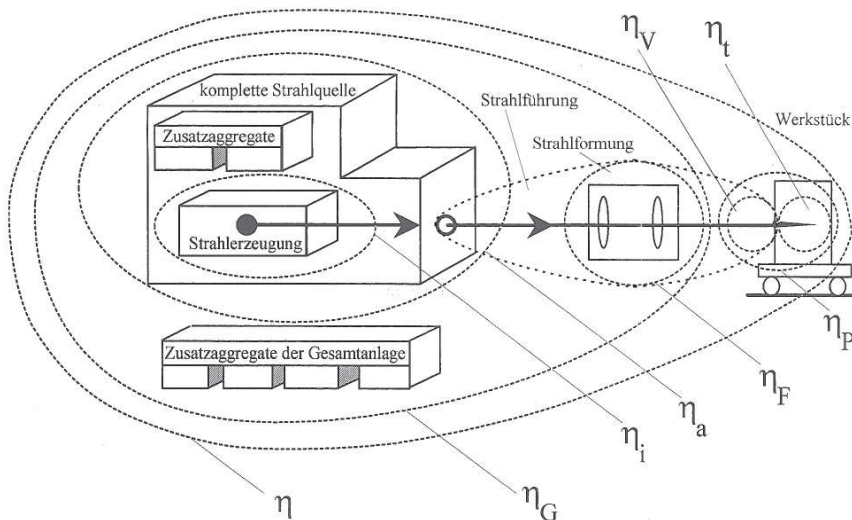


Bild 1. Die Bilanzhüllen der verschiedenen Wirkungsgrade.

Diese Veröffentlichung wurde von einer Gruppe erfahrener Fachleute in ehrenamtlicher Gemeinschaftsarbeit erstellt und wird als eine wichtige Erkenntnisquelle zur Beachtung empfohlen. Der Anwender muss jeweils prüfen, wie weit der Inhalt auf seinen speziellen Fall anwendbar und ob die ihm vorliegende Fassung noch gültig ist. Eine Haftung des DVS und derjenigen, die an der Ausarbeitung beteiligt waren, ist ausgeschlossen.

Ein Teil der eingebrachten elektrischen Wirkleistung wird in der Strahlquelle in Strahlleistung umgesetzt. Ein anderer Teil wird den erforderlichen Zusatzaggregaten zur Verfügung gestellt oder als Abwärme über Kühler wieder abgeführt.

Bei Laserstrahlschweißanlagen wird unter dem Begriff der Strahlquelle der Laser selbst verstanden. Für Elektronenstrahlschweißanlagen ist in diesem Merkblatt als Strahlquelle nur das Triodensystem definiert. An die Strahlquelle schließt sich bei beiden Systemen das Strahlführungs- und Strahlformungssystem an, das den Strahl formt, fokussiert oder ablenkt. Bei Elektronenstrahlschweißanlagen sind Strahlführung und Strahlquelle in einer Einheit, dem Strahlerzeuger, zusammengefasst (Strahlgenerator). Bei Laserstrahlschweißanlagen gibt es diese Einheit im allgemeinen nicht. Strahlquelle und die optischen Elemente der Strahlführung bzw. -formung sind räumlich voneinander getrennt.

Aufgrund der gerätetechnischen Abwandlungen ergeben sich Unterschiede im Aufbau der beiden Schweißsysteme, so dass sich unterschiedliche Definitionen der Strahlausgangsleistung eingebürgert haben:

- bei Laserstrahlsystemen liegt die Strahlausgangsleistung am Auskoppelfenster (bzw. -spiegel) des Resonators vor, also vor Strahlführung und -formung,
- bei Elektronenstrahlsystemen wird darunter die Leistung am Ausgang des aus Strahlquelle und Strahlführung bestehenden Strahlerzeugers verstanden. Die Strahlausgangsleistung wird im weiteren Verlauf bis zum Auftreffen des Strahls auf das Bauteil aufgrund verschiedener Effekte durch Energieverluste reduziert und schließlich nur teilweise in Form von Wärme in das Bauteil eingekoppelt.

Bild 2 und Bild 3 zeigen den Leistungsfluss von Elektronen- und Laserstrahlschweißanlagen aus qualitativer Sicht. Ausgehend von der Anschlusswirkleistung der Gesamtanlage sind folgende Leistungsströme dargestellt:

- Leistungsverluste, die bei der Strahlerzeugung (Umsetzung von elektrischer Leistung in Strahlleistung) entstehen (zum Beispiel Abwärme).
- Leistungsverluste, die bei der Strahlführung und -formung bis zur Einkopplung in das Bauteil entstehen.
- Leistungen, die aufzuwenden sind, um Zusatzaggregate zu betreiben (z. B. Vakuumpumpen, Umwälzpumpen, Kühlaggregate, Steuerungen).

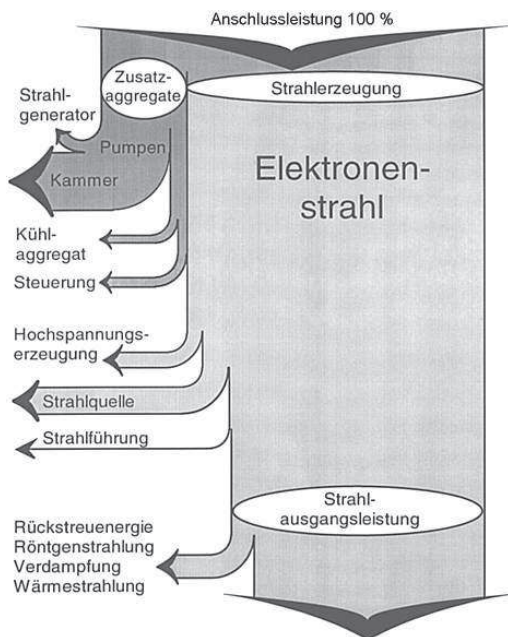


Bild 2. Leistungsflussdiagramm einer Elektronenstrahlschweißanlage (ohne Handhabungssystem).

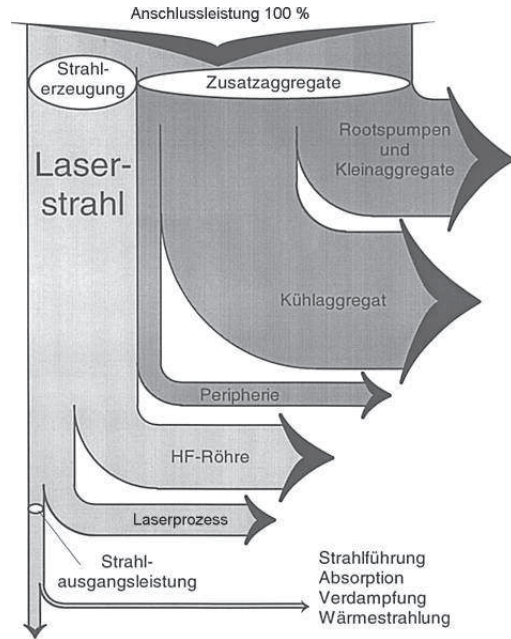


Bild 3. Leistungsflussdiagramm einer mit Hochfrequenz angeregten CO₂-Laserstrahlschweißanlage (ohne Handhabungssystem).

4 Wirkungsgradbegriffe bei Strahlschweißanlagen

Die Umsetzung und Übertragung von Energie ist mit Verlusten verbunden. Als Wirkungsgrad wird allgemein das Verhältnis der abgegebenen zur aufgenommenen Leistung verstanden. Bei der Umsetzung elektrischer Leistung wird dabei nur der Wirkleistungsanteil betrachtet. Für Laser- und Elektronenstrahlschweißanlagen sind in diesem Merkblatt folgende Einzelwirkungsgrade definiert:

η_i	Innerer Wirkungsgrad der Strahlquelle
η_a	Äußerer Wirkungsgrad der Strahlquelle
η_F	Wirkungsgrad der Strahlführung und Strahlformung
η_S	Wirkungsgrad des Strahlgenerators, nur beim Elektronenstrahl (= $\eta_a \cdot \eta_F$)
η_G	Gerätetechnischer Wirkungsgrad
η_V	Verfahrenstechnischer Wirkungsgrad
η_t	Thermischer Wirkungsgrad
η_P	Prozesswirkungsgrad (= $\eta_V \cdot \eta_t$)
η	Gesamtwirkungsgrad (= $\eta_G \cdot \eta_P$)

4.1 Innerer und Äußerer Wirkungsgrad der Strahlquelle

Unter dem Inneren Wirkungsgrad der Strahlquelle η_i wird die Strahlleistung am Ausgang der Strahlquelle, bezogen auf die für die Strahlerzeugung in der Strahlquelle aufgewendete Leistung, verstanden.

$$\eta_i = \frac{\text{Strahlleistung am Ausgang der Strahlquelle}}{\text{Leistung für die Strahlerzeugung in der Strahlquelle}}$$

Mit diesem Wirkungsgrad wird lediglich die Güte des physikalischen Prozesses der Energieumwandlung in der Strahlquelle beschrieben. Leistungsaufwendungen für Zusatzaggregate (z. B. Pumpen) werden nicht berücksichtigt.

Im Gegensatz zum Inneren Wirkungsgrad bezieht der Äußere Wirkungsgrad der Strahlquelle η_a , auch diejenigen Energieanteile